

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ ΦΥΤΙΚΗΣ ΚΑΙ ΖΩΙΚΗΣ**  
**ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ**

**Επίδραση της απόστασης μεταξύ των σταλακτηφόρων  
σωλήνων και σταλακτήρων στην ομοιόμορφη άρδευση  
ζαχαρότευτλων.**



**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ**  
**υπό**  
**ΒΑΣΙΛΕΙΟΥ Δ. ΚΑΠΕΤΑΝΟΥ**



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**  
**ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ**  
**ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 133/1

Ημερ. Εισ.: 19-09-2003

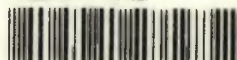
Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΓΦΖΠ

2000

ΚΑΠ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000070273

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδα
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	3
1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ	
1.1 Ιστορική αναδρομή	3
1.2 Σημασία για την Ελλάδα	4
1.3 Βοτανική κατάταξη	4
1.3.1 Βοτανική περιγραφή	5
1.4 Οικολογικές απαιτήσεις	6
1.4.1 Κλίμα	6
1.4.2 Εδαφος	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
2.1 Υδατοκατανάλωση καλλιεργειών	9
2.2 Φυτικοί παράγοντες που επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή.	9
2.3 Μέθοδοι υπολογισμού της εξατμισοδιαπνοής	11
2.3.1 Μέθοδος του Blaney-Griddle.	11
2.3.2 Μέθοδος λυσιμέτρου	13
2.3.3 Μέθοδος εξατμισιμέτρου.	14
2.4 Ανάγκες των ζαχαρότευτλων σε νερό.	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	25
3.1 Φαινόμενο ειδικό βάρος(ΦΕΒ)	25
3.2 Ισοδύναμο υγρασίας του εδάφους	25
3.3 Σημείο μόνιμης μάρανσης	26
3.4 Διαθέσιμη υγρασία	27
3.5 Διηθητικότητα του εδάφους	28
3.6 Υδραυλική αγωγιμότητα	39
3.6.1 Γενικά	39
3.6.2 Μέτρηση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας	39
3.6.3 Μέθοδοι μέτρησης της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας	40
3.6.4 Μετρήσεις της Υδραυλικής αγωγιμότητας στον αγρό	40
3.6.5 Μέθοδος μέτρησης Kfs με την χρήση του υδροπερατομέτρου Guelph	41
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	
ΠΕΙΡΑΜΑ	
4.1 Υλικά και μέθοδοι.	52
4.2 Περιγραφή εγκατάστασης.	54
4.3 Αποτελέσματα-συζήτηση.	58
5 Συμπεράσματα.	66
Βιβλιογραφία.	
Παράρτημα.	

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το πρόβλημα της συνεχούς μείωσης των υδάτινων αποθεμάτων λόγω της επί σειράς ετών μείωσης των κατακρημνισμάτων στη χώρα μας και ειδικότερα στην Θεσσαλία, αλλά και η αυξημένη ζήτηση νερού λόγω της εντατικοποίησης των καλλιεργειών, ώθησε τους επιστήμονες που ασχολούνται με τα θέματα των αρδεύσεων στην εφαρμογή του νερού υπό μορφή σταγόνων στην περιοχή του ριζοστρώματος των φυτών με την βοήθεια ειδικών σταλακτήρων (drippers ή emitters).

Οι σταλακτήρες είναι τοποθετημένοι σε ορισμένες αποστάσεις επάνω σε σωλήνες από πολυαιθυλένιο, πολύ μικρής διαμέτρου, οι οποίοι είναι απλωμένοι στο έδαφος κατά μήκος των γραμμών φύτευσης των φυτών. Η πίεση του νερού στους σταλακτήρες είναι από 0.2 έως 2 ατμόσφαιρες και η παροχή τους από 1 έως 10 l/h/σταλακτήρα.

Με τη μέθοδο αυτής της άρδευσης έχουμε τη δυνατότητα μαζί με το νερό να προσθέτουμε λιπάσματα ή φάρμακα. Η άρδευση με σταγόνες κερδίζει συνεχώς όλο και περισσότερο έδαφος στην εφαρμογή της σε βάρος της τεχνητής βροχής και της επιφανειακής άρδευσης. Τα τελευταία χρόνια η στάγδην άρδευση άρχισε να εφαρμόζεται και στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύλων.

Σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η μελέτη της επίδρασης διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτήρων νερού, στην κατανομή της εδαφικής υγρασίας και στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύλων. Για τον λόγο αυτό εγκαταστάθηκε σε αντιπροσωπευτικό αγρό της αγροτικής περιοχής του χωριού Πρόδρομος Λάρισας πειραματικός αγρός, με τη συνεργασία του εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής και Ζωικής Παραγωγής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και της Ελληνικής Βιομηχανίας Ζάχαρης.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας αυτής θέλω να ευχαριστήσω την καθηγήτρια κ. Σακελλαρίου – Μακραντωνάκη για την συνεχή παρακολούθηση κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου διατριβής.

Επίσης θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τον υποψήφιο διδάκτορα του Εργαστηρίου Γεωργικής Υδραυλικής κ. Καλφούντζο Δημήτριο για την πολύτιμη βοήθειά του.

Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, κύριο Χρ. Γούλα καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και Π. Λόλα καθηγητή του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας για τις υποδείξεις –διορθώσεις της πτυχιακής εργασίας.

Βόλος, Ιανουάριος 2000

Βασίλειος Δ. Καπετάνος

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων στη χώρα μας συναρτάται με την ύπαρξη και την λειτουργία της Ελληνικής βιομηχανίας ζάχαρης και έχει μια ιστορία 40 περίπου χρόνων. Εστιάζεται σε περιοχές που υπάρχουν ζαχαρουργεία δηλαδή στην Θεσσαλία, Μακεδονία και Θράκη. Επειδή η καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων συνήθως συμμετέχει σε μια τετραετή αμειψισπορά, για αυτό και το σύνολο των εκτάσεων που επηρεάζονται από την τευτλοκαλλιέργεια στην χώρα μας υπολογίζεται στα 1,6-2 εκ. στρέμματα, δηλαδή εκτάσεις που αποτελούν περί το 15-20% των συνολικώς αρδευόμενων εκτάσεων της χώρας. Αλλαγές λοιπόν στο κοινοτικό καθεστώς που διέπει την τευτλοκαλλιέργεια και την παραγωγή ζάχαρης θα έχουν αξιόλογο αντίκτυπο για την Ελλάδα. Σημειώνεται ότι επιρροές υπάρχουν και στον τομέα της κτηνοτροφίας όπου τα φύλλα των ζαχαρότευτλων ή η μελάσσα και άλλα υποπροϊόντα της ζαχαρουργείας χρησιμοποιούνται για ζωοτροφή. Επίσης επιρροές θα υπάρξουν και στην χημική βιομηχανία που αξιοποιεί την μελάσσα.

Η οικονομική αποτελεσματικότητα της ελληνικής βιομηχανίας ζάχαρης εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, μερικές από τις οποίες επηρεάζουν τα αποτελέσματα της σε μακροχρόνια βάση, άλλες όμως έχουν περιορισμένη βραχυχρόνια επιρροή. Εν πολλοίς τα προβλήματα της ελληνικής βιομηχανίας ζάχαρης βρίσκονται σε άμεση συνάρτηση με προβλήματα που σχετίζονται με τις εξελίξεις της ελληνικής τευτλοπαραγωγής. Ανάμεσα σε θέματα που αποτελούν στοιχεία επηρεασμού της αποτελεσματικότητας της EBZ αναφέρονται:

- Η μειωμένη παραγωγή τεύτλων και ζάχαρης τα τελευταία χρόνια.
- Ο χαμηλός ζαχαρικός τίτλος που έχουν, σε ορισμένες χρονιές, τα προς επεξεργασία ζαχαρότευτλα.
- Η μειωμένη απόληψη ζάχαρης από τα ζαχαρότευτλα λόγω τεχνολογικών αδυναμιών.
- Η επιμηκισμένη παραγωγική καμπάνια τουλάχιστον σε ορισμένα εργοστάσια.
- Η ισχυροποίηση του ανταγωνισμού, ιδιαίτερα μετά το γεγονός ότι και η Ιταλία έχει είδη καταστεί πλεονασματική παραγωγής ζάχαρης.
- Η αρδευτική πρακτική.

Η καλλιέργεια των τεύτλων στην Ελλάδα κατά την φετινή χρονιά, πραγματοποιήθηκε σε έκταση ανάλογη με αυτή της περσινής χρονιάς (περίπου



400.000 στρ.) και η αναμενόμενη παραγωγή είναι της τάξεως των 2.250.000 τόνων τεύτλων που αντιστοιχούν περίπου σε 249.000 τόνους λευκής ζάχαρης. Αυτό σημαίνει ότι η παραγωγή της ελληνικής βιομηχανίας ζάχαρης θα ωφεληθεί σημαντικά της ποσόστωσης παραγωγής ζάχαρης που έχει κατανεμηθεί στην Ελλάδα.

Ο ζαχαρικός τίτλος των τεύτλων που θα παραχθούν υπολογίζεται ότι θα κυμανθεί περί το 13,9%. Το επίπεδο αυτό είναι πενιχρό σε σχέση με τους μέσους ζαχαρικούς τίτλους που επιτυγχάνονται σε άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Αυτό σημαίνει ότι χρειάζεται μια προσπάθεια για την ουσιαστική ποιοτική αναβάθμιση της ελληνικής τευτλοπαραγωγής.

Είναι γνωστό σε όσους γνωρίζουν την καθημερινή πραγματικότητα της ελληνικής γεωργίας, ότι το πότισμα είναι μια από τις καθοριστικές εργασίες του χωραφιού που επηρεάζουν την τελική απόδοση των καλλιεργειών.

Στα ζαχαρότευτλα, όπως σε όλες τις ποτιστικές καλλιέργειες η κανονική ανάπτυξη και η παραγωγική δραστηριότητα του φυλλώματος και της ρίζας έχουν άμεση σχέση με την επαρκή παρουσία του νερού στο έδαφος. Λιγότερο νερό, κατά κανόνα, οδηγεί σε μικρότερες αποδόσεις.

Όμως το νερό του ποτίσματος κοστίζει σε κόπο, κοστίζει σε χρήμα. Για το λόγο αυτό η χρήση του δεν πρέπει να είναι αλόγιστη. Η καλύτερη αξιοποίηση από τα φυτά πετυχαίνεται όταν το χειριζόμαστε σωστά. Η σπατάλη στο νερό πρέπει να αποφεύγεται.

Για έναν ολοκληρωμένο και έμπειρο χειρισμό του ποτίσματος επιβάλλεται να έχουμε στο μυαλό μας μερικές βασικές λεπτομέρειες, οι οποίες συνδέονται με τους λόγους για τους οποίους ποτίζουμε. Τέτοιες λεπτομέρειες είναι:

- Η ικανότητα των εδαφών να συγκρατούν νερό και να το διαθέτουν στα φυτά.
- Η θρέψη των φυτών, που γίνεται με την βοήθεια του νερού
- Η γνώση των συστηματικών αναγκών ποτίσματος ενός χωραφιού(πόσο νερό χρειάζεται, κάθε πότε και με ποιο τρόπο ποτίζουμε)

Το σωστό πότισμα είναι τέχνη. Και όπως κάθε τέχνη έτσι και αυτή έχει τα μυστικά της. Ωστόσο τα πράγματα δεν είναι τόσο περίπλοκα. Πριν πάρουμε αποφάσεις για την τακτική του ποτίσματος πρέπει να γνωρίζουμε τις δυνατότητες που έχουμε (την ποσότητα του διαθέσιμου νερού, την ικανότητα του αρδευτικού συγκροτήματος μας), και να έχουμε εκτιμήσει σωστά τα χαρακτηριστικά του χωραφιού μας.

# 1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΑ ΖΑΧΑΡΟΤΕΥΤΛΑ

## 1.1 Ιστορική αναδρομή

Το γένος Beta, στο οποίο ανήκουν τα τεύτλα θεωρείται ότι κατάγεται από την Δ. Ασία ιδιαίτερα από την Μικρά Ασία και την περιοχή του Καυκάσου. Από εκεί τα διάφορα είδη επεκτάθηκαν στην Ευρώπη και Ασία με όρια προσαρμογής 35-60<sup>0</sup> βόρειο γεωγραφικό πλάτος. Μερικά άγρια είδη, συγγενικά προς το καλλιεργούμενο, όπως το Beta maritima αυτοφύονται και στην Ελλάδα.

Είναι καλλιέργεια της εύκρατης ζώνης του βόρειου ημισφαιρίου και κυρίως της Ευρώπης. Στο νότιο ημισφαίριο καλλιεργείται ελάχιστα. Η παγκόσμια έκταση που καλύπτουν τα ζαχαρότευτλα ανέρχεται σε 80 εκ. στρέμματα και η μέση τιμή για το στρεμματοζάχαρο είναι περίπου 375 Kgr.

Κύριες παραγωγικές χώρες είναι η πρώην Σοβιετική ένωση, η Γερμανία, η Τσεχοσλαβία, η Ιταλία, η Πολωνία και οι ΗΠΑ.

Τα τεύτλα ήταν μέρος της διατροφής των αρχαίων Αιγυπτίων και αναφέρονται από πολλούς αρχαίους Έλληνες, όπως ο Ιπποκράτης που θεωρούσε το ζαχαρότευτλο φάρμακο. Ως γλυκαντική πηγή αναγνωρίστηκε γύρω στο 1500 αλλά μόνο το 1747 διαπιστώθηκε ότι το ζάχαρο του ζαχαρότευτλου ήταν όμοιο με του ζαχαροκάλαμου και 50 χρόνια αργότερα εφαρμόστηκε μέθοδος βιομηχανικής εξαγωγής ζαχάρους που δεν απέδωσε κυρίως λόγω της μικρής περιεκτικότητας των τεύτλων σε ζάχαρη.

Με τη βελτιωτική προσπάθεια και ειδικότερα του Vilmorin στη Γαλλία που πρώτο εφήρμοσε τη μέθοδο της δοκιμής των απογόνων δημιουργήθηκαν ποικιλίες με 16-17% περιεκτικότητα σε ζάχαρη, όση και η σημερινή περίπου, ώστε, παράλληλα με την πρόοδο της βιομηχανικής τεχνολογίας και την εφεύρεση του πολυτόμετρου που αποτέλεσε το πρώτο ευκολόχρηστο μέσο για τον υπολογισμό της περιεκτικότητας σε ζάχαρη. Ινστιτούτα και φορείς έδωσαν νέα ώθηση στην καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων. Ανάμεσα στους φορείς αυτούς ξεχωρίζει το διεθνές Ινστιτούτο έρευνας ζαχαρότευτλων που αποτελείται από ειδικούς επιστήμονες των χωρών που καλλιεργούν ζαχαρότευτλα. Το Ινστιτούτο οργανώθηκε το 1931 στις Βρυξέλλες και το 1981 συμμετείχαν 500 περίπου.

## 1.2 Σημασία για την Ελλάδα

Τα ζαχαρότευτλα πρωτοκαλλιεργήθηκαν στην Λαζαρίνα της Θεσσαλίας το 1894 όπου ιδρύθηκε από μια ιδιωτική Εταιρεία ένα εργοστάσιο ζάχαρης το οποίο λειτούργησε για 15 περίπου χρόνια. Η προσπάθεια αυτή ναυάγησε για διάφορους λόγους και κυρίως εξαιτίας σοβαρών ζημιών των τεύτλων από το έντομο Κλεονός η νεότερη ζαχαροβιομηχανία της Ευρώπης, ώστε άρχισαν και πάλι να καλλιεργούνται ζαχαρότευτλα στην Ελλάδα. Ιδρύθηκαν με τη σειρά πέντε εργοστάσια στη Λάρισα, στο Πλατύ, στις Σέρρες, στη Ξάνθη και στην Ορεστιάδα και η τευτλοκαλλιέργεια παρουσίασε αλματώδη πρόοδο, ώστε σε 10 χρόνια καλύφθηκαν οι ανάγκες της χώρας σε ζάχαρη και η στρεμματική απόδοση έφθασε να είναι ανάμεσα στις υψηλότερες της Ευρώπης. Μέχρι το 1980 η καλλιεργούμενη έκταση κυμαινόταν στο σταθερό επίπεδο των 400-450 χιλ. στρ., ενώ η στρεμματική απόδοση ριζών ήταν περίπου 6,5 t και της ζάχαρης 900 Kg. Η καλλιέργεια ήταν από τις πλέον ανταγωνιστικές για τον παραγωγό, ώστε μόνο με τον έλεγχο που ασκεί η βιομηχανία στην καλλιέργεια συγκρατήθηκε η επέκτασή της.

Από την δεκαετία του 1980 και μέχρι σήμερα υποχώρησε η ανταγωνιστικότητα της καλλιέργειας, ώστε πολλές χρονιές να μην επιτυγχάνεται ο στόχος των 400 χιλ. στρ. που θεωρείται απαραίτητος για την οικονομική λειτουργικότητα των εργοστασίων και την κάλυψη των αναγκών της χώρας. Οι λόγοι που συνέβαλαν στο αποτέλεσμα αυτό είναι η αύξηση της ανταγωνιστικότητας του βαμβακιού, κυρίως λόγω των επιδοτήσεων της ΕΟΚ, τα προβλήματα που παρουσιάζει η καλλιέργεια με τη συνεχή χρήση, η κακή πολιτική που εφαρμόστηκε ως προς ορισμένα σημεία κ.α.

## 1.3 Βοτανική κατάταξη

Το ζαχαρότευτλο από το οποίο εξάγεται η ζάχαρη είναι το *Beta vulgaris* L (2n=18) της οικογένειας *chenopodiaceae*. Στο ίδιο όμως είδος ανήκουν επίσης λαχανοκομικά (κοκκινογούλια ή παντζάρια) και τα κτηνοτροφικά τεύτλα. Ορισμένοι θεωρούν το ζαχαρότευτλο ως ιδιαίτερο είδος του *B. saccharifera*. Πρόγονος του ζαχαρότευτλου θεωρείται το *B. maritima* (2n=18) που αυτοφύεται στη Ν. Ευρώπη (και στην Ελλάδα).

Στο γένος *Beta* ανήκουν και άλλα άγρια, που αυτοφύονται σε περιοχές της Μεσογείου μερικά από τα οποία έχουν πολύτιμα γονίδια ανθεκτικότητας σε εχθρούς και ασθένειες, όπως π.χ. το *B. procumbens* (2n=18) για νηματώδεις.



### 1.3.1. Βοτανική περιγραφή

Το ώριμο ζαχαρότευτλο αποτελείται από τρία μέρη: την ρίζα όπου υπάρχουν οι αποθησαυριστικές ουσίες, τον λαιμό που είναι το φαρδύτερο μέρος του τεύτλου όπου και γίνεται η κοπή του κατά τη συγκομιδή και την στερόνη η οποία αποτελείται από την κορυφή (apex) και τα φύλλα που εκφύονται στο λαιμό σε σπειροειδή διάταξη (ροζέττα).

Το ζαχαρότευτλο είναι διετές φυτό. Τον πρώτο χρόνο αναπτύσσεται η σαρκώδης ρίζα του, γι' αυτό και καλλιεργείται ως ετήσιο φυτό. Τον δεύτερο χρόνο παράγει άνθη και σπόρους ενώ η ρίζα ξυλοποιείται. Όταν επικρατήσουν ορισμένες συνθήκες όπως π.χ παρατεταμένο ψύχος (κάτω από  $-4^{\circ}\text{C}$ ) και στη συνέχεια μακρά φωτοπερίοδος, προκαλείται άνθηση τον πρώτο χρόνο (πρόωρη άνθηση –bolting) η οποία είναι ανεπιθύμητη γιατί μειώνει την απόδοση της ρίζας σε ζάχαρη. Οι ποικιλίες διαφέρουν ευρέως ως προς τον βαθμό της απαραίτητης θερμικής επιδράσεως για να εκδηλωθεί το φαινόμενο. Το άνθος είναι μικρό χωρίς πέταλα, με πέντε σέπαλα και πέντε στήμονες και με ωθήκη που περιέχει ένα ωάριο και η οποία καταλήγει σε τρία στίγματα ενωμένα στη βάση. Τα άνθη σχηματίζουν δέσμες οι οποίες εκφύονται από ένα κοινό άξονα χωρίς διακλαδώσεις. Όταν τα άνθη της περιφέρειας της ανθοδέσμης συμφύονται, σχηματίζουν συγκάρπιο ώστε τα σπέρματα αποχωρίζονται δύσκολα (πολύσπερμες ποικιλίες), ενώ όταν δεν συμφύονται ο κάθε σπόρος έχει ένα σπέρμα (μονόσπερμες), γεγονός που διευκολύνει τη σπορά και δεν απαιτεί αραίωμα φυτών. Οι πολύσπερμοι σπόροι μπορεί να μετατραπούν μηχανικώς σε μονόσπερμους, σήμερα όμως έχουν επικρατήσει οι γενετικώς μονόσπερμοι. Για σπορά ακριβείας προτιμώνται σήμερα οι μονόσπερμοι πελλετοποιημένοι σπόροι. Η συγκράτηση του σπόρου κατά την συγκομιδή είναι επιθυμητό χαρακτηριστικό. Ο σπόρος παρουσιάζει μια περίοδο ληθάργου. Το ζαχαρότευτλο είναι συνήθως διασταυρούμενο φυτό (περισσότερο με τον αέρα και λιγότερο με τα έντομα). Παρουσιάζει επίσης σημαντικό ποσοστό αυτοστεριότητας που καθορίζεται από γενετικούς παράγοντες αλλά επηρεάζεται και από το περιβάλλον, η αυτοστεριότητα οφείλεται σε φαινόμενα ασυμβίβαστου αλλά και στο γεγονός ότι τα άνθη είναι πρώτανδρα.

Τα ζαχαρότευτλα παρουσιάζουν έντονη ετέρωση, η χρησιμοποίηση της οποίας διευκολύνεται γιατί υπάρχουν προσπελάσιμες πηγές αρρενοστεριότητας, γιατί η ομοζυγωτία δεν επιφέρει σημαντική μείωση της αποδόσεως ώστε οι γονείς καθαρές σειρές είναι υψηλοαποδοτικές και η γύρη μεταφέρεται εύκολα με τον άνεμο.

## 1.4 Οικολογικές απαιτήσεις

Το ζαχαρότευτλο έχει σχετικώς στενή γενετική παραλλακτικότητα και κατά συνέπεια και οικολογική προσαρμοστικότητα ώστε είναι απαραίτητη η γνώση των οικολογικών απαιτήσεων του αλλά και των συνθηκών της περιοχής. Τα προβλήματα της προσαρμογής διευκολύνονται από το γεγονός ότι για βιομηχανικούς σπόρους το ζαχαρότευτλο καλλιεργείται ως μονοετές φυτό και δεν χρειάζεται να αντιμετωπιστούν τα δύσκολα προβλήματα της αναπαραγωγής.

### 1.4.1 Κλίμα

Οι σπουδαιότεροι κλιματολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν την παραγωγικότητα των ζαχαρότευτλων είναι η θερμοκρασία ημέρας και νύχτας, το μήκος της ημέρας, η ένταση φωτός, η ατμοσφαιρική υγρασία, η συγκέντρωση διοξειδίου του άνθρακα και η κίνηση του αέρα.

Η θερμοκρασία στην οποία μπορεί να αρχίσει η βλάστηση του σπόρου είναι 3-4 °C, ενώ με θερμοκρασίες 15-25 °C το φύτευμα συντελείται σε 3-4 ημέρες. Τα νεαρά φυτά είναι ευαίσθητα και υφίστανται ζημιές σε θερμοκρασίες -3 έως -4 °C. Από το στάδιο των μόνιμων φύλλων γίνονται ανθεκτικά μέχρι και -8 °C, ενώ φθινοπωρινές θερμοκρασίες -3 έως -4 °C προκαλούν ζημιές στο φύλλωμα.

Η άριστη θερμοκρασία για την καθαρή φωτοσύνθεση και συνεπώς για παραγωγή ζαχαρόζης είναι 19-22 °C. Υψηλότερες θερμοκρασίες είναι επιζήμιες κυρίως κατά το τέλος της περιόδου, όταν γίνεται η εντατική αποθήκευση σαχαρόζης στη ρίζα και επαυξάνεται όταν επικρατούν δροσερές και μεγάλες ημέρες με μεγάλη ηλιοφάνεια και μάλλον ψυχρές νύχτες. Φαίνεται όμως ότι μεγαλύτερη σημασία από τις απόλυτες τιμές της θερμοκρασίας έχει το θερμομετρικό εύρος. Έχει βρεθεί ότι όσο υψηλότερη γίνεται η θερμοκρασία ημέρας τόσο υψηλότερη είναι και η άριστη θερμοκρασία της νύχτας για να μεγιστοποιηθεί η συγκέντρωση σακχάρου. Έτσι εξηγούνται οι υψηλές αποδόσεις (ριζών και περιεκτικότητα σε σάκχαρο) στην Καλιφόρνια, Ελλάδα, Ιταλία κ.α όπου η θερμοκρασία ημέρας υπερβαίνει κάποτε τους 38 °C.

Το ποσοστό του σακχάρου στη ρίζα επηρεάζεται κυρίως από τον καιρό στο τέλος της εποχής ενώ η συνολική ποσότητα του επηρεάζεται από τον καιρό που επικράτησε όλη την περίοδο.

Η χαμηλή θερμοκρασία επηρεάζει επίσης τον χρόνο εκπύξεως των ανθικών καταβολών. Με φθινοπωρινή σπορά η πρώιμη εαρινή και εφόσον επικρατήσουν χαμηλές θερμοκρασίες, ορισμένες ποικιλίες ζαχαρότευτλων, που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες, μετατρέπονται σε ετήσια φυτά, όπως και αντιθέτως σε ορισμένα φυτά που μεταφυτεύονται κατά το δεύτερο έτος για να δώσουν άνθη και τα οποία έχουν μεγαλύτερες από τον μέσον όρο, απαιτήσεις σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν μπαίνουν στο αναπαραγωγικό στάδιο. Η πρώτη περίπτωση είναι επιθυμητή για την σποροπαραγωγή αλλά ανεπιθύμητη για την κοινή καλλιέργεια και η δεύτερη αντιθέτως ώστε σε περιβάλλοντα με ήπιο χειμώνα θα μπορούσαν ορισμένες ποικιλίες να σπαρούν το φθινόπωρο και να διευρύνουν έτσι την περίοδο λειτουργίας των ζαχαρουργείων, όπως συμβαίνει και στην Καλιφόρνια.

Ως προς την υγρασία το ζαχαρότευτλο είναι απαιτητικό φυτό παρόλο που ο συντελεστής διαπνοής είναι χαμηλός (250-400), γιατί σχηματίζει πλούσια φυτική μάζα. Έτσι σε ξηροθερμικά περιβάλλοντα η καλλιέργεια πρέπει να είναι ποτιστική. Οι αρδεύσεις πρέπει να γίνονται πριν διψάσουν τα φυτά. Τις μεγαλύτερες ανάγκες έχει το φυτό κατά το μέσο της περιόδου αναπτύξεως του, ενώ η άρδευση πρέπει να αποφεύγεται κατά το τέλος της περιόδου γιατί μειώνεται η περιεκτικότητα των ριζών σε σακχαρόζη.

Ως προς το φως το ζαχαρότευτλο ευνοείται από τη μέση ένταση. Πολύ υψηλή ή πολύ χαμηλή ένταση μπορεί να προκαλέσει μείωση του ποσοστού του σακχάρου. Η συνολική παραγωγή σακχάρου αυξάνει με την ένταση του φωτισμού και μεγιστοποιείται όταν το επίπεδο αζώτου είναι σε κανονικά όρια γιατί όταν είναι πολύ υψηλά φαίνεται ότι ευνοείται η βλαστική αύξηση και μειώνεται η αποθήκευση προϊόντων φωτοσύνθεσης στις ρίζες. Το μήκος της ημέρας φαίνεται να επηρεάζει τα ζαχαρότευτλα μέσου της φωτοσύνθεσης, αλλά η επίδραση της δεν μπορεί να ερμηνευτεί εύκολα γιατί δεν μπορεί να διαφοροποιηθεί, υπό φυσικές συνθήκες, από της εντάσεως του φωτός. Έτσι η παραγωγή ζάχαρης είναι η ίδια όταν επικρατούν α) μακρές ημέρες με μέση ένταση φωτός β) βραχύτερες ημέρες αλλά με μεγαλύτερη συνολική ακτινοβολία

#### **1.4.2 Έδαφος**

Οι εδαφικές απαιτήσεις του φυτού έχουν ιδιαίτερη σημασία. Ευδοκιμεί σε εδάφη βαθιά, με καλή αποστράγγιση, πηλώδη έως αμμοπηλώδη, πλούσια σε οργανική ουσία γόνιμα έως μέσης γονιμότητας, με ΡΗ 7-8 και απαλλαγμένα από πέτρες και

χαλίκια που παραμορφώνουν τις ρίζες και δυσκολεύουν την εξαγωγή τους. Ο ρυθμός νιτροποίησης πρέπει να είναι ταχύς στην αρχή και βραδύς στο τέλος της καλλιεργητικής περιόδου, γιατί και η πολλή υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε οργανική ουσία είναι ανεπιθύμητη γιατί λόγω των συνθηκών υψηλής θερμοκρασίας και υγρασίας που εξασφαλίζει, αύξανε, πέραν του επιθυμητού βαθμού νιτροποίησης. Αντέχει στα αλκαλικά εδάφη ενώ στα όξινα κακώς αεριζόμενα, ψυχρά και υγρά εδάφη παρατηρούνται τροφοπενίες. Είναι απαιτητικό φυτό σε θρεπτικά στοιχεία, ιδίως σε κάλιο.

Το ζαχαρότευτλο καλλιεργείται κυρίως στην Βόρεια Ελλάδα και σε ημίξηρες περιοχές α) παραλιακές με μεσογειακό κλίμα και β) εσωτερικές πεδιάδες με ηπειρωτικό κλίμα. Η Νότια Ελλάδα θεωρείται ακατάλληλη για την καλλιέργεια των ζαχαρότευτλων, κυρίως λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Ενδιαφέρον παρουσιάζει η Δυτική Ελλάδα όπου η θερμοκρασία τον χειμώνα δεν κατεβαίνει πέραν του  $-5^{\circ}\text{C}$  κατά κανόνα, ώστε εκεί θα μπορούσε ίσως να ευδοκιμήσει φθινοπωρινή καλλιέργεια ιδιαιτέρως ανθεκτικών στο ψύχος ποικιλιών η οποία εκτός του ότι εκμεταλλεύεται τις βροχές του χειμώνα διευρύνει την περίοδο λειτουργίας του ζαχαρουργείου.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ2**

### **2.1 ΥΔΑΤΟΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΩΝ**

Αντικειμενικός σκοπός της αρδεύσεως είναι ο εφοδιασμός των καλλιεργειών με το απαραίτητο νερό για κανονική ανάπτυξη και μεγιστοποίηση της αποδόσεως του σε συνδυασμό με υψηλή ποιότητα προϊόντων. Ένα σε ανάπτυξη φυτό παίρνει με τις ρίζες του νερό μαζί με τα διαλυμένα σε αυτό θρεπτικά στοιχεία που μετά από μια διαδρομή μέσα από τους φυτικούς ιστούς, καταλήγει στα φύλλα. Από εκεί, όταν τα στόματα των φύλλων είναι ανοικτά, το νερό κινείται παραπέρα με την μορφή υδρατμών προς την περιβάλλουσα στο φύλλωμα ατμόσφαιρα. Νερό επίσης χάνεται από το χωράφι με την διαδικασία της εξατμίσεως από την επιφάνεια του εδάφους, όταν αυτή είναι υγρή. Τέλος, μετά από βροχή ή άρδευση με καταιονισμό, το νερό που συγκρατείται από τα υπέργεια μέρη του φυτού εξατμίζεται και αυτό προς την ατμόσφαιρα. Το νερό που απομακρύνεται από το χωράφι με όλες αυτές τις διαδικασίες αναφέρεται σαν εξατμισοδιαπνοή.

Η εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής είναι ένα από τα βασικά στοιχεία που μαζί με την ωφέλιμη υγρασία, αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για το σωστό προγραμματισμό των αρδεύσεων. Το τελικό μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των φυτών και τις συνθήκες που επικρατούν στην ατμόσφαιρα που περιβάλλει το φύλλωμα τους.

### **2.2 ΦΥΤΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗ**

#### **α) Το είδος του φυτού**

Τα φυτικά είδη διαφέρουν μεταξύ τους σε ότι αφορά την εποχή που αναπτύσσονται, το βάθος και την πυκνότητα του ριζικού συστήματος, την πυκνότητα και έκταση του φυλλώματος, το ύψος και όταν αυτά καλλιεργούνται ομαδικά τον τρόπο σποράς και τις μεταξύ τους αποστάσεις. Οι διαφορές αυτές, σε συνδυασμό με τις συνθήκες του περιβάλλοντος, μπορεί να διαφοροποιήσουν το μέγεθος και την κατανομή της εξατμισοδιαπνοής από είδος σε είδος. Λόγω της σοβαρότητας του, το θέμα αυτό αποτέλεσε αντικείμενο πολύχρονης εντατικής έρευνας. Βασισμένος στα πορίσματα αυτής της έρευνας, ο Penman (1956) έκανε τις ακόλουθες δύο γενικές διαπιστώσεις:

**α)** Καλλιέργειες που διαμορφώνουν το φύλλωμα τους σε χαμηλά επίπεδα, με παραπλήσια χαρακτηριστικά, που καλύπτουν πρακτικά όλη την επιφάνεια του εδάφους, που αναπτύσσονται σε χωράφια με επαρκή υγρασία σε όλη την διάρκεια



της βλαστικής περιόδου, έχουν την ίδια εξατμισοδιαπνοή ανεξάρτητα από το φυτικό είδος που ανήκουν και τα χαρακτηριστικά του εδάφους στο οποίο καλλιεργούνται.

**β) Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος και ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής εξαρτάται από τις επικρατούσες συνθήκες της ατμόσφαιρας στην περιοχή του φυλλώματος και μόνο από αυτές. Εκτεταμένες μεταγενέστερες μελέτες που έγιναν σε πολλά μέρη του κόσμου επιβεβαιώνουν, με μικρές μόνο παρεκλίσεις, την ορθότητα των διαπιστώσεων αυτών.**

### **β) Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος**

Η ανακλαστικότητα του φυλλώματος, αλλά και του εδάφους καθορίζει το ύψος της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις επιφάνειες που την δέχονται και επηρεάζει κατά ανάλογο τρόπο το ύψος της εξατμισοδιαπνοής. Η ανακλαστικότητα επηρεάζεται από το χρώμα και την τραχύτητα της επιφάνειας που δέχεται την ακτινοβολία. Εκτεταμένες παρατηρήσεις που έγιναν από τους Monthieth (1959) και Haise et al (1963) έδειξαν ότι για τις περισσότερες πυκνά φυτεμένες καλλιέργειες η ανακλαστικότητα κυμαίνεται από 20-30% και για γυμνό έδαφος, ανάλογα με την σύσταση του και την περιεχόμενη υγρασία, από 11-23%. Παρατηρήσεις σε μεμονωμένα φυτά έδειξαν ότι, σαν συνέπεια της διαφορετικής ανακλαστικότητας τους, η εξατμισοδιαπνοή επηρεάστηκε σε ποσοστό μέχρι 25%. Όταν τα φυτά αυτά καλλιεργήθηκαν σε πυκνή διάταξη, η διαφορά περιορίστηκε στο ελάχιστο.

### **γ) Το ποσοστό καλύψεως του εδάφους από το φύλλωμα.**

Το ποσοστό του εδάφους που καλύπτεται από το φύλλωμα των καλλιεργειών ασκεί σημαντική επίδραση στην διαμόρφωση της εξατμισοδιαπνοής. Η εξατμισοδιαπνοή γίνεται μέγιστη όταν η κάλυψη του εδάφους από το φύλλωμα είναι 100%. Αυτό όμως δεν αποτελεί απαραίτητη προϋπόθεση. Μετά από μακροχρόνιες παρατηρήσεις οι Marlatt (1961), Tanner(1963) και Swan et al (1963) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι για τις περισσότερες καλλιέργειες, όταν το ποσοστό καλύψεως είναι 50-60% της επιφάνειας του εδάφους η εξατμισοδιαπνοή λίγο διαφέρει από όταν το ποσοστό είναι 100%.

### **δ) Το ύψος των φυτών.**

Γενικά από τα δεδομένα που υπάρχουν, δεν φαίνεται ότι η εξατμισοδιαπνοή επηρεάζεται από το ύψος των φυτών μιας καλλιέργειας. Σε πειράματα όμως που έγιναν σε θερμοκήπια, πράγματι παρατηρήθηκε ότι ψηλά φυτά παρουσίασαν πιο

έντονη διαπνοή από χαμηλά. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στο ότι τα ψηλά μεμονομένα φυτά, πέρα από την άμεση, δέχονται περισσότερη έμμεση ανοδική ακτινοβολία από το έδαφος που χρησιμοποιείται για διαπνοή. Στην περίπτωση όμως όχι μεμονωμένων φυτών αλλά καλλιεργειών που καλύπτουν όλη την επιφάνεια του εδάφους, δεν υπάρχει διαφοροποίηση στην ακτινοβολία κάθε προελεύσεως που δέχονται, με συνέπεια να μην παρατηρείται διαφοροποίηση στην εξατμισοδιαπνοή.

#### **ε) Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος.**

Το βάθος και η πυκνότητα του ριζικού συστήματος επηρεάζουν την εξατμισοδιαπνοή κατά τρόπο έμμεσο, σε σχέση με το επίπεδο της εδαφικής υγρασίας και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Σε υγρά εδάφη με ανοιχτή δομή όπου τα φυτά έχουν άφθονη υγρασία στην διάθεση τους, φυτά με αβαθές και αραιό ριζικό σύστημα μπορούν να αντλούν, το ίδιο εύκολα τις απαραίτητες ποσότητες νερού για την ικανοποίηση της μέγιστης εξατμισοδιαπνοής τους όπως και τα φυτά με βαθιές και πυκνές ρίζες. Σε ξηρά και ημίξηρα κλίματα και συνεκτικά εδάφη, φυτά με βαθύ και πυκνό ριζικό σύστημα εκμεταλλεύονται εύκολα όλη την εδαφική υγρασία σε αντίθεση με φυτά που έχουν επιπόλαιο και αραιό ριζικό σύστημα, με συνέπεια τα πρώτα να παρουσιάζουν μεγαλύτερη εξατμισοδιαπνοή από τα δεύτερα.

#### **στ) Το στάδιο αναπτύξεως της καλλιέργειας**

Ο ρυθμός της εξατμισοδιαπνοής δεν είναι σταθερός καθ' όλη την διάρκεια της βλαστικής περιόδου. Η εξατμισοδιαπνοή αυξάνει με γρήγορο ρυθμό από το φύτευμα μέχρι την πλήρη ανάπτυξη της καλλιέργειας, διατηρείται σταθερή για ένα χρονικό διάστημα και μετά ελαττώνεται. Η ταχεία αύξηση κατά την περίοδο αναπτύξεως οφείλεται κατά κύριο λόγο στην μεταβολή του ποσοστού φυτοκαλύψεως του εδάφους που ξεκινάει από μηδέν και φτάνει στο 100%. Η ελάττωση στα τελευταία στάδια της βλαστικής περιόδου οφείλεται σε φυσιολογικές διαφοροποιήσεις των φυτών.

## **2.3 ΜΕΘΟΔΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΕΞΑΤΜΙΣΟΔΙΑΠΝΟΗΣ**

### **2.3.1 Μέθοδος του Blaney-Griddle**

Οι Blaney και Griddle χρησιμοποίησαν παρατηρήσεις από τις Δυτικές ΗΠΑ και διαπίστωσαν μια εμπειρική σχέση που δίνει την εποχιακή εξατμισοδιαπνοή, από το φύτευμα μέχρι την συγκομιδή των καλλιεργειών, σαν συνάρτηση των μέσων

μηνιαίων θερμοκρασιών του αέρα (T) κατά την περίοδο αυτή, ενός παράγοντα (p) που εκφράζει την διάρκεια της ημέρας κάθε μήνα σαν ποσοστό της αντίστοιχης ετήσιας διάρκειας και ενός φυτικού συντελεστή (K) που είναι χαρακτηριστικός κάθε καλλιέργειας.

Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι μόνη η μηνιαία θερμοκρασία του αέρα δεν είναι ασφαλής δείκτης για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής (ET). Η εξατμισοδιαπνοή διαμορφώνεται ανάλογα με την λανθάνουσα θερμότητα που, με την σειρά της εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την καθαρή ακτινοβολία και την κατάσταση της ατμόσφαιρας που περιβάλλει το υπέργειο τμήμα των καλλιεργειών. Η κατανομή της καθαρής ακτινοβολίας κατά την βλαστική περίοδο δεν ταυτίζεται με την αντίστοιχη διακύμανση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Για παράδειγμα, στην Ελλάδα, ενώ η καθαρή ακτινοβολία στο τέλος του Μαρτίου και του Σεπτεμβρίου κυμαίνεται στα ίδια επίπεδα γίνεται από όλους μας αισθητό ότι η θερμοκρασία στο τέλος Μαρτίου είναι σημαντικά χαμηλότερη από ότι στο τέλος Σεπτεμβρίου. Παρατηρήθηκε όμως ότι αν η ατμοσφαιρική θερμοκρασία πολλαπλασιαστεί με τον παράγοντα p το γινόμενο αυτό ακολουθεί σχεδόν πιστά την κατανομή της καθαρής ακτινοβολίας και εξηγεί την σχετική επιτυχία της μεθόδου.

Η εμπειρική σχέση που διατύπωσαν οι Blaney και Griddle(1950) για την εκτίμηση της εποχιακής εξατμισοδιαπνοής έχει την μορφή  $ET=K \cdot F$  όπου ET είναι η εποχιακή εξατμισοδιαπνοή σε ίντσες, K είναι ο εποχιακός φυτικός συντελεστής και F είναι ένας κλιματικός παράγοντας που υπολογίζεται από την σχέση

$$F = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{T_j \cdot p_j}{100} \right]$$

όπου  $T_j$  είναι η μέση θερμοκρασία καθενός από τους n μήνες που διαρκεί η βλαστική περίοδος της καλλιέργειας και  $p_j$  είναι ο μηνιαίος παράγοντας που εκφράζει την μηνιαία διάρκεια της ημέρας σαν ποσοστό της αντίστοιχης διάρκειας.

Συνεχίζοντας την εργασία τους οι Blaney και Griddle υποστήριξαν πως η μηνιαία εξατμισοδιαπνοή μπορεί να υπολογιστεί με μια ανάλογη σχέση όπως  $ET_m = K \cdot f$ ,  $f = (0.46T + 8.16)p$ . Όπου  $ET_m$ =μηνιαία εξατμισοδιαπνοή και  $f$ =μηνιαίος φυτικός συντελεστής.

### 2.3.3 Μέθοδος του λυσίμετρου

Η μέθοδος αυτή κάνει χρήση μιας εγκαταστάσεως που λέγεται λυσίμετρο. Το κύριο σώμα του λυσίμετρου είναι ένα μεγάλο, κατά προτίμηση κυλινδρικό δοχείο από μέταλλο ή ενισχυμένο πλαστικό που τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το ελεύθερο άκρο του να ταυτίζεται με την επιφάνεια του. Το δοχείο είναι γεμάτο με χώμα και καλλιεργείται με τα φυτά των οποίων πρόκειται να υπολογιστεί η εξατμισοδιαπνοή. Το βάθος του δοχείου πρέπει να είναι αρκετό ώστε να μπορεί να αναπτυχθεί ανεμπόδια το ριζικό σύστημα της καλλιέργειας και να έχει αρκετή επιφάνεια, όχι μικρότερη από τέσσερα τετραγωνικά μέτρα. Σε μια τέτοια διάταξη είναι εύκολο να μηδενιστούν η επιφανειακή απορροή και η βαθεία διήθηση, έτσι που η εξατμισοδιαπνοή να μπορεί να υπολογισθεί σαν διαφορά ανάμεσα στο νερό που δέχεται το λυσίμετρο και τη μεταβολή της υγρασίας του εδάφους που περιέχει.

Για να είναι αντιπροσωπευτικές και ακριβείς οι μετρήσεις της εξατμισοδιαπνοής πρέπει να εξασφαλίζονται ορισμένες προϋποθέσεις. Είναι βασικό και απαραίτητο το λυσίμετρο να τοποθετείται στο κέντρο ενός εκτεταμένου χωραφιού που, λυσίμετρο και χωράφι, πρέπει να έχουν την ίδια καλλιέργεια και να ποτίζονται, λιπαίνονται και γενικά να καλλιεργούνται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Οι θερμικές ιδιότητες του δοχείου πρέπει να είναι παραπλήσιες με αυτές του εδάφους. Διάφορα εμπόδια, φυτοφράχτες, κάθε είδους κατασκευές, δρόμοι και γενικά επιφάνειες γυμνές που δεν εξατμίζουν νερό δεν επιτρέπεται να υπάρχουν στο χωράφι που περιβάλλει το λυσίμετρο. Τέτοιου είδους εμπόδια αλλοιώνουν σημαντικά το μικροκλίμα με αποτέλεσμα μη αντιπροσωπευτικές παρατηρήσεις.

Η μέτρηση του νερού που μπαίνει στο δοχείο του λυσίμετρου με αρδύση ή βροχή και του νερού που φεύγει με την εξατμισοδιαπνοή μπορεί να γίνει με διάφορους τρόπους. Ανάλογα με αυτούς τα λυσίμετρα διακρίνονται σε τρεις τύπους. Στον ένα τύπο το δοχείο τοποθετείται μέσα σε ένα φρεάτιο υποδοχής που είναι κατασκευασμένο από οπλισμένο σκυρόδεμα. Στον πυθμένα του φρεατίου τοποθετούνται εύκαμπτοι ασκοί, που είναι συνήθως σωλήνες από βυνίλιο μεγάλης αντοχής και διαμέτρου, γεμάτοι με νερό. Το δοχείο κάθεται πάνω στους ασκούς και ασκεί πίεση ανάλογη προς το βάρος του. Η πίεση αυτή, με κατάλληλη διάταξη, καταγράφεται και μετατρέπεται σε ένδειξη βάρους. Οι μεταβολές του βάρους που

καταγράφονται μεταξύ των διαδοχικών αναγνώσεων αντιστοιχούν στην εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός αναφέρεται σαν υδραυλικό λυσίμετρο.

Ένας άλλος τύπος έχει την ίδια διάταξη με το υδραυλικό λυσίμετρο, μόνο που εδώ το δοχείο τοποθετείται πάνω σε ένα ζυγιστικό μηχανισμό (γεφυροπλάστιγγα ακριβείας ή ζυγιστικά κύτταρα) ο οποίος δίνει απευθείας τις μεταβολές του βάρους από τις οποίες υπολογίζεται η εξατμισοδιαπνοή. Ο τύπος αυτός λέγεται ζυγιστικό λυσίμετρο.

Ο τρίτος τύπος διαφέρει ουσιαστικά από τους δύο προηγούμενους. Κατ' αυτόν, στο έδαφος κατασκευάζεται μια δεξαμενή από σκυρόδεμα που στην συνέχεια γεμίζεται με χώμα. Στον πυθμένα της δεξαμενής τοποθετούνται διάτρητοι σωλήνες μέσα σε μια στρώση από χονδρόκοκκο υλικό πάχους 30cm περίπου. Οι διάτρητοι σωλήνες συνδέονται, με κατάλληλη διάταξη, με ένα ογκομετρικό δοχείο νερού έτσι που η στάθμη του νερού στην δεξαμενή να διατηρείται σταθερή και να ταυτίζεται με το πάνω όριο της στρώσης του χονδρόκοκκου υλικού. Το πάνω από την στρώση αυτή κανονικό έδαφος εφοδιάζεται με υγρασία, με τριχοειδή ανύψωση. Το νερό που καταναλώνεται από τα φυτά που καλλιεργούνται μέσα στην δεξαμενή αναπληρώνεται από το ογκομετρικό δοχείο, που κρατάει σταθερή τη στάθμη του νερού μέσα στην δεξαμενή. Έτσι, η εξατμισοδιαπνοή κατά την διάρκεια μιας χρονικής περιόδου υπολογίζεται από την μεταβολή του όγκου του νερού στο δοχείο. Η διάταξη αυτή είναι γνωστή σαν ισοσταθμιστικό λυσίμετρο.

### **2.3.3 Μέθοδος του εξατμισιμέτρου**

Τα εξατμισίμετρα με ελεύθερη επιφάνεια νερού, γνωστά σαν εξατμισίμετρα τύπου λεκάνης, παρέχουν ένα μέτρο της συνδυασμένης επιδράσεως που ασκούν η ηλιακή ακτινοβολία, ο άνεμος, η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα πάνω στην εξάτμιση από μια συγκεκριμένη ελεύθερη επιφάνεια νερού. Οι καλλιέργειες αντιδρούν, σε γενικές γραμμές, στους παραπάνω κλιματικούς παράγοντες με ανάλογο τρόπο. Για τον λόγο αυτό, εξατμισίμετρα του τύπου αυτού χρησιμοποιήθηκαν από πολλούς εδώ και χρόνια για την εκτίμηση της εξατμισοδιαπνοής σε διάφορα μέρη του κόσμου.

Όμως η εξάτμιση από ένα εξατμισίμετρο τύπου λεκάνης και η εξατμισοδιαπνοή από ένα καλλιεργημένο χωράφι δεν ταυτίζονται απόλυτα. Πολλοί παράγοντες διαφοροποιούν την μια από την άλλη, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι:



1) Η ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας

Το ποσοστό που ανακλάται από μια ελεύθερη επιφάνεια νερού ανέρχεται σε 5-7% ενώ από τις περισσότερες καλλιέργειες το ποσοστό αυτό είναι 20-30%. Έτσι για τις ίδιες κατά τα άλλα συνθήκες, το νερό έχει περισσότερο διαθέσιμη ενέργεια για εξάτμιση από ότι οι καλλιέργειες.

2) Η αποθήκευση θερμότητας μέσα στο εξατμισόμετρο μπορεί να είναι σημαντική, με αποτέλεσμα να έχουμε σχεδόν λίγη εξάτμιση κατά την ημέρα και την νύχτα. Αυτό βρίσκεται σε αντίθεση με όλες σχεδόν τις καλλιέργειες που διαπνέουν μόνο κατά την διάρκεια της ημέρας.

3) Μπορεί να υπάρξει μεταφορά θερμότητας από ή προς το εξατμισόμετρο μέσω των τοιχωμάτων του, με ανάλογη επίδραση στην εξάτμιση. Ο παράγοντας αυτός είναι κατ' εξοχή σημαντικός στα βυθισμένα εξατμισόμετρα.

4) Το χρώμα των εσωτερικών και εξωτερικών τοιχωμάτων της συσκευής διαφοροποιεί επίσης το ύψος της εξατμίσεως.

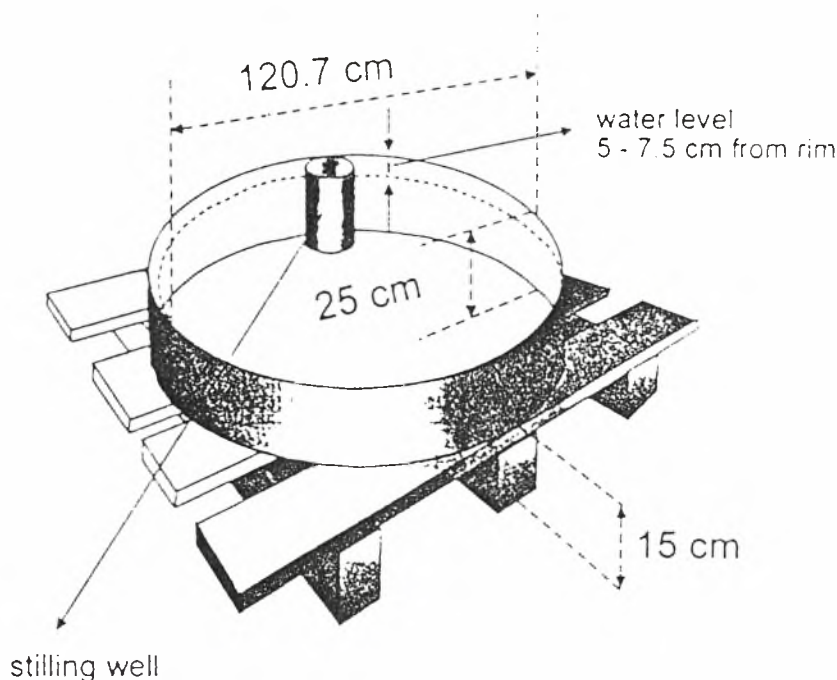
5) Η θέση, ο τρόπος εγκαταστάσεως και το περιβάλλον του τόπου εγκαταστάσεως του οργάνου επηρεάζουν σημαντικά το τελικό μέγεθος της εξατμίσεως. Τα εξατμισόμετρα τύπου λεκάνης για να δώσουν αξιόπιστες εκτιμήσεις των αναγκών των καλλιεργειών σε νερό πρέπει να σχεδιαστούν και να τοποθετηθούν έτσι που να ελαχιστοποιούν την επίδραση των παραγόντων αυτών.

Τύποι εξατμισίμετρων υπάρχουν πολλοί. Σήμερα περισσότερο χρησιμοποιείται το εξατμισόμετρο Α τάξεως της Αμερικανικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας και λιγότερο το βυθισμένο εξατμισόμετρο του Κολοράντο.

Το εξατμισόμετρο τύπου Κολοράντο είναι τετράγωνο με πλευρά 92cm και βάθος 46cm. Είναι κατασκευασμένο από γαλβανισμένη λαμαρίνα και τοποθετείται μέσα στο έδαφος έτσι που το χείλος του να είναι 5 cm πάνω από την επιφάνεια του περιβάλλοντος εδάφους. Η στάθμη του νερού μέσα στο εξατμισόμετρο διατηρείται περίπου στο ίδιο επίπεδο με το έδαφος.

Το εξατμισόμετρο Α τάξεως που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμα της παρούσης εργασίας είναι μία κυλινδρική λεκάνη κατασκευασμένη από χοντρή γαλβανισμένη λαμαρίνα με διάμετρο 121 cm και βάθος 25.4 cm που τοποθετείται πάνω σε ξύλινη βάση ώστε ο πυθμένας της να είναι απόλυτα οριζοντιομένος και να απέχει 15cm από την επιφάνεια του εδάφους όπως φαίνεται στην εικόνα 1.

Στην συνέχεια το έδαφος υπερυψώνεται κάτω από την λεκάνη έτσι που τελικά να απέχει 5 cm από τον πυθμένα της. Η λεκάνη γεμίζεται από τον πυθμένα της.



Εικόνα 1. Εξατμισόμετρο τύπου Α.

Η λεκάνη γεμίζεται με νερό μέχρι 5cm κάτω από το πάνω χείλος της, η δε στάθμη του νερού κατά την λειτουργία του οργάνου δεν πρέπει να πέφτει κάτω από 7.5 cm από το χείλος αυτό. Το νερό της λεκάνης πρέπει να ανανεώνεται συχνά για να μην θολώνει. Τα τοιχώματα της λεκάνης κάθε χρόνο πρέπει να χρωματίζονται με χρώμα αλουμινίου.

Η σχέση που δίνει τη βασική εξατμισοδιαπνοή στη μέθοδο αυτή είναι:

$ET_r = K_p \cdot E_{pan}$  όπου  $E_{pan}$  είναι η μέση εξάτμιση του 24ωρου από το εξατμισόμετρο σε mm/ημέρα και  $K_p$  είναι ο συντελεστής του εξατμισίμετρου. Τιμές του  $K_p$  για εξατμισίμετρα Α τάξεως και για τα εξατμισίμετρα τύπου Κολοράντο δίνονται αντίστοιχα από πίνακες για διάφορες συνθήκες υγρασίας, ανέμου και περιβάλλοντος του οργάνου όπως φαίνεται στον πίνακα I.

Κατά την επιλογή της τιμής του  $K_p$  ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην κάλυψη του εδάφους που είναι εγκατεστημένο το όργανο, την κατάσταση του εδάφους που περιβάλλει την θέση εγκαταστάσεως και τις γενικές συνθήκες ανέμου και υγρασίας.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Τιμές του συντελεστή  $K_r$  εξατμισίμετρου Α τάξεως για διάφορες συνθήκες περιβάλλοντος του οργάνου, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου.

[Doorenbos-Pruitt (1977)]

Ταχύ- τητα ανέμου. Km/ήμ.	Περίπτωση Α : Εξατμισίμετρο τοποθε- μένο σε φυτοκαλυμμένο έδαφος				Περίπτωση Β : Εξατμισίμετρο τοποθε- μένο σε ξερό έδαφος			
	Απόσταση από φυτο- καλυμμένο όριο. m	RHmean . %			Απόσταση από όριο ακάλυπτου εδάφους. m	RHmean. %		
		Χαμηλή < 40	Μέση 40 - 70	Υψηλή > 70		Χαμηλή < 40	Μέση 40-70	Υψηλή > 70
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Μικρή. <175	1	0.55	0.65	0.75	1	0.70	0.80	0.85
	10	0.65	0.75	0.85	10	0.60	0.70	0.80
	100	0.70	0.80	0.85	100	0.55	0.65	0.75
	1000	0.75	0.85	0.85	1000	0.50	0.60	0.70
Μέτρια 175-425	1	0.50	0.60	0.65	1	0.65	0.75	0.80
	10	0.60	0.70	0.75	10	0.55	0.65	0.70
	100	0.65	0.75	0.80	100	0.50	0.60	0.65
	1000	0.70	0.80	0.80	1000	0.45	0.55	0.60
Μεγάλη 425-700	1	0.45	0.50	0.60	1	0.60	0.65	0.70
	10	0.55	0.60	0.65	10	0.50	0.55	0.65
	100	0.60	0.65	0.70	100	0.45	0.50	0.60
	1000	0.65	0.70	0.75	1000	0.40	0.45	0.55
Πολύ μεγάλη. > 700	1	0.40	0.45	0.50	1	0.50	0.60	0.65
	10	0.45	0.55	0.60	10	0.45	0.50	0.55
	100	0.50	0.60	0.65	100	0.40	0.45	0.50
	1000	0.55	0.60	0.65	1000	0.35	0.40	0.45

Αν το εξατμισόμετρο είναι τοποθετημένο σε θέση με φτωχή φυτοκάλυψη ή σε γυμνό έδαφος ή σε επιφάνεια καλυμμένη με τσιμέντο ή άσφαλτο (περίπτωση που πρέπει απόλυτα να αποφεύγεται) η θερμοκρασία του αέρα στη θέση του οργάνου μπορεί να είναι 2-5°C ψηλότερη και η σχετική υγρασία 20-30% χαμηλότερη από την ευρύτερη περιοχή.

Αν η θέση του εξατμισόμετρου περιβάλλεται από καλλιέργειες που το ύψος τους ξεπερνά το ένα μέτρο, όπως στην περίπτωση αραβόσιτου που το ύψος του μπορεί να φθάσει τα 2.5 m, οι συντελεστές  $K_r$  των πινάκων πρέπει να αυξηθούν μέχρι και 30% για ξερές, με δυνατό αέρα συνθήκες ενώ η αύξηση αυτή περιορίζεται σε 5-10% όταν η υγρασία είναι υψηλή και η ταχύτητα του αέρα μικρή.

Η στάθμη στην οποία διατηρείται το νερό μέσα στα εξατμισόμετρα παίζει πολύ σημαντικό ρόλο. Σφάλματα μέχρι 15% μπορεί να παρατηρηθούν αν η στάθμη του νερού πέσει 10cm κάτω από τα χείλη του οργάνου. Τοποθέτηση πλεγμάτων πάνω από το όργανο, για την αποφυγή χρησιμοποίησεως του νερού από τα πουλιά, περιορίζει την Εραπ μέχρι 10%. Για να αποφεύγεται η χρήση του νερού του εξατμισιμέτρου από τα πουλιά, κοντά σε αυτό μπορεί να τοποθετηθεί μια λεκάνη γεμάτη με νερό μέχρι το χείλος της, οπότε τα πουλιά κατά κανόνα την προτιμούν. Η θολότητα του νερού μπορεί να επηρεάσει την Εραπ μέχρι 5%.

#### **2.4 Ανάγκες των ζαχαροτεύτλων σε νερό**

Από τον πολυετή πειραματισμό της ελληνικής βιομηχανίας ζάχαρης έχει προκύψει ότι, όταν η δόση κάθε ποτίσματος είναι επαρκής, οι αποδόσεις των ζαχαρότευτλων είναι ανάλογες με το άθροισμα του νερού, που δέχθηκαν τα φυτά σε όλη την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου. Με βάση την μελέτη των πειραματικών αποτελεσμάτων έχει εκτιμηθεί ότι οι συνολικές ανάγκες των ζαχαρότευτλων σε νερό, στο διάστημα μιας καλλιεργητικής περιόδου, με στόχο την οικονομικότερη απόδοση, ανέρχονται από 540 κυβικά μέτρα στο στρέμμα (περιοχή Θράκης) έως 610 κυβικά μέτρα το στρέμμα (Θεσσαλία). Οι διακυμάνσεις προς τα πάνω ή προς τα κάτω, που οφείλονται στις μεταβολές του καιρού από χρόνο σε χρόνο, είναι περιορισμένες σε ποσοστό περίπου  $\pm 10\%$ . Κάποιες μικρότερες διακυμάνσεις παρατηρήθηκαν επίσης σαν συνέπεια μιας πρωϊμότερης σποράς ή μιας οψιμότερης συγκομιδής.

Αφαιρώντας την ποσότητα του νερού, που είναι ήδη αποθηκευμένη στο έδαφος κατά την εποχή της σποράς, και την ωφέλιμη βροχή, που συνήθως πέφτει κατά την διάρκεια της βλαστικής περιόδου, όπως συμβαίνει κάθε χρόνο, οι μέσες καθαρές ανάγκες σε νερό ποτίσματος στις περιοχές τευτλοκαλλιέργειας διαμορφώνονται ως εξής: Θεσσαλία 390 κυβικά μέτρα το στρέμμα, Κεντρική Μακεδονία 350 κυβικά μέτρα ανά στρέμμα, Θράκη 310 κυβικά μέτρα ανά στρέμμα. Όμως κατά το πότισμα στο χωράφι πρέπει να δίνεται κατά τι περισσότερο νερό από τις καθαρές ανάγκες, ανάλογα με την αποδοτικότητα που έχει το σύστημα ποτίσματος που χρησιμοποιούμε. Στο πότισμα με σταγόνες το ποσοστό είναι 10%, στον καταιονισμό 10-20% και στο πότισμα με αυλάκια 25-30% περίπου επιπλέον των καθαρών αναγκών.

#### **Πότε αρχίζουν και πότε σταματούν τα ποτίσματα ;**

Οι πρώτες ανάγκες των ζαχαρότευτλων για πότισμα εμφανίζονται αμέσως μετά την σπορά, στις περιπτώσεις εκείνες που δεν υπάρχει αρκετή υγρασία στο έδαφος ή δεν βρέχει για να φυτρώσουν οι σπόροι. Το ελαφρύ πότισμα που γίνεται τότε, για υποβοήθηση του φυτρώματος θεωρείται λύση ανάγκης. Το καλό φύτεμα των σπόρων θα πρέπει κατά κανόνα να επιδιώκεται από νωρίτερα, με σωστή προετοιμασία των χωραφιών από το φθινόπωρο και με λιγότερη κατεργασία την άνοιξη, για να συγκρατείται στο έδαφος η απαιτούμενη υγρασία φυτρώματος.

Μετά την ολοκλήρωση των φυτρωμάτων, κατά το διάστημα έως πριν το κλείσιμο των γραμμών, τα τεύτλα έχοντας περιορισμένο φύλλωμα, έχουν μικρές ανάγκες σε νερό, οι οποίες συνήθως αυτή την εποχή ικανοποιούνται από τα υπάρχοντα εδαφικά αποθέματα. Το ριζικό σύστημα τότε αναπτύσσεται γρήγορα σε βάθος και εκμεταλλεύεται αρκετό όγκο εδάφους. Εάν όμως κατά την άνοιξη επικρατήσουν έντονες ξηροθερμικές συνθήκες ιδιαίτερα τότε που ορισμένα αργιλώδη εδάφη αρχίζουν να σχίζονται, συνιστάται ένα ελαφρύ πότισμα που θα βοηθήσει στο καλύτερο λιώσιμο των λιπασμάτων και στο ταχύτερο κλείσιμο των γραμμών.

Η κρίσιμη περίοδος, που τα τεύτλα έχουν μεγάλη ανάγκη τόσο του νερού, όσο και των θρεπτικών στοιχείων που είναι διαλυμένα σ' αυτό θεωρείται ότι αρχίζει λίγο πριν από το κλείσιμο των γραμμών και τελειώνει περίπου στις 150 ημέρες από την ημερομηνία σποράς. Στην περίοδο αυτή περιλαμβάνονται οι μήνες Ιούνιος, Ιούλιος, και Αύγουστος που παραδοσιακά θεωρούνται μήνες της κύριας αρδευτικής περιόδου των ζαχαρότευτλων.



Καλλιεργητικός στόχος είναι η διατήρηση ενός ισορροπημένου φυλλώματος μέχρι τη συγκομιδή και ο σταθερός ρυθμός θρέψης των φυτών στο διάστημα αυτό.

Από τον Σεπτέμβριο μέχρι την λήξη της συγκομιδής οι θερμοκρασίες αρχίζουν να πέφτουν, το φύλλωμα των τεύτλων περιορίζεται και οι ανάγκες σε νερά μειώνονται. Ωστόσο τα φυτά κατά το διάστημα αυτό δεν πρέπει να στερηθούν νερό. Σε παρατεταμένες ξηροθερμικές συνθήκες η αρδευτική περίοδος επιβάλλεται να παρατείνεται και πέρα από τον Σεπτέμβριο. Αυτό βέβαια, όσο τα παρατεταμένα ποτίσματα δεν δημιουργούν προβλήματα στη συγκομιδή. Σε ορισμένα πολύ βαριά εδάφη, άλλωστε ένα ελαφρό πότισμα μερικές ημέρες πριν την συγκομιδή περιορίζει τα σπασίματα των ριζών από τις μηχανές συγκομιδής και μειώνει τις απώλειες. Όμως η καθημερινή πράξη έχει δείξει ότι κρίσιμη περίοδος μπορεί να είναι οποιοδήποτε διάστημα της βλαστικής περιόδου των ζαχαρότευτλων που τα φυτά έχουν ανάγκη νερού, αλλά δεν ικανοποιούνται.

Τα τελευταία χρόνια σε ορισμένες καλλιέργειες ζαχαρότευτλων τα πιο συχνά ποτίσματα, που γινόταν παλαιότερα, έχουν αντικατασταθεί με ποτίσματα μεγαλύτερων, σε αραιότερα χρονικά διαστήματα. Αυτό θεωρείται λαθεμένη μεταχείριση του νερού γιατί τα ζαχαρότευτλα σε κάποια χρονικά μεσοδιαστήματα μεταξύ δύο ποτισμάτων αισθάνονται σοβαρή έλλειψη νερού. Τότε τα διαστήματα αυτά γίνονται κρίσιμα για την απόδοση της καλλιέργειας λόγω της ακανόνιστης διάθεσης στα φυτά όχι μόνον του νερού, αλλά και των θρεπτικών στοιχείων.

Σε άλλες περιοχές τευτλοκαλλιέργειας το πότισμα του Σεπτεμβρίου έχει υποτιμηθεί αρκετά. Τα ζαχαρότευτλα κατά το μήνα αυτό εξακολουθούν να έχουν ανάγκη νερού και θρεπτικών στοιχείων. Το έδαφος τότε δεν πρέπει να χάνει την υγρασία του και τα θρεπτικά στοιχεία, ειδικότερα του επιφανειακού στρώματος πρέπει να είναι στην άμεση διάθεση των φυτών.

Στα μη επαρκώς ποτισμένα χωράφια, με ξηρά επιφανειακά στρώματα, πρέπει να οφείλονται κατά ένα μεγάλο μέρος οι όψιμες αναβλαστήσεις φυλλώματος. Τότε συνήθως μετά από μια ελαφριά βροχή τα θρεπτικά στοιχεία γίνονται απότομα διαθέσιμα στα φυτά, και τα χωράφια των ζαχαρότευτλων ξαναπρασινίζουν, με συνέπεια τη σοβαρή πτώση του ζαχαρικού τίτλου.

Η λήξη των ποτισμάτων συνίσταται να γίνεται 2 έως 4 εβδομάδες πριν την συγκομιδή με σκοπό τα φυτά να ζορισθούν προς μια ταχύτερη ωρίμανση που συνοδεύεται από υψηλότερο ζαχαρικό τίτλο. Ωστόσο η ωρίμανση αυτή θα πρέπει

κατά το μεγαλύτερο μέρος να είναι αποτέλεσμα μιας φυσιολογικής εξέλιξης της καλλιέργειας των ζαχαρότευτλων, ώστε το διάστημα χωρίς πότισμα πριν την συγκομιδή να γίνεται ελάχιστο. Το πράσινο χρώμα του φυλλώματος πρέπει να «σπάει» φυσιολογικά χωρίς ζόρι.

### **Πόσο νερό χρειάζεται και κάθε πότε ποτίζουμε;**

Η ποσότητα (δόση) του νερού που θα ρίξουμε στο χωράφι εξαρτάται από την σύσταση του εδάφους. Τα βαριά χωράφια δέχονται μεγαλύτερες ποσότητες. Ωστόσο, όταν τα ποτίσματα γίνονται κανονικά, οι δόσεις ποτίσματος δεν διαφέρουν πολύ στις διάφορες κατηγορίες εδαφών.

Το νερό που χρησιμοποιούν τα ζαχαρότευτλα, όπως προαναφέρθηκε, είναι αυτό που μπορούν να συγκρατήσουν τα εδάφη στο βάθος των 60 εκατοστών περίπου δύο ημέρες μετά από ένα πλήρες πότισμα, όπως ακριβώς ένα σφουγγάρι μετά το στράγγισμα. Η ποσότητα αυτή είναι η μεγαλύτερη δόση νερού που επιτρέπεται να ρίξουμε.

Για επαναλαμβανόμενα ποτίσματα οι δόσεις είναι:

Στα ελαφρά –αμμουδερά εδάφη 40-50 κυβ.μέτρα /στρέμμα.

Στα μεσαία –αμμοπηλώδη εδάφη 50-70 κυβ.μέτρα /στρέμμα.

Στα βαριά –αργιλλώδη εδάφη 60-80 κυβ.μέτρα /στρέμμα

Αν η ξηρασία μας αναγκάζει να ποτίσουμε πριν το κλείσιμο των γραμμών ή πριν από τις 20 Μαΐου τότε η δόση ποτίσματος πρέπει να είναι μειωμένη της κανονικής περίπου στα 60%.

Κατά την αμέσως επόμενη περίοδο (Ιούνιος έως Αύγουστος) οι δόσεις ποτίσματος πρέπει να τηρούνται ακριβώς, χωρίς τις υπερβολές που οδηγούν σε σπατάλη νερού. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται να δοθεί στα ελαφρά –αμμώδη εδάφη που δύσκολα χορταίνουν με νερό, αλλά ωστόσο δεν πρέπει να τα ποτίζουμε περισσότερες ώρες.

Εάν κατά τον Ιούλιο-Αύγουστο η στάθμη του υπόγειου νερού βρίσκεται σε βάθος μικρότερο του 1.2 μέτρων, η δόση ποτίσματος μπορεί να μειωθεί 30 έως 40%.

Πότισμα με περισσότερο νερό από τη δόση ποτίσματος δεν δίνει κανένα πλεονέκτημα στην ανάπτυξη της καλλιέργειας των ζαχαροτεύτλων. Το περίσσειο νερό δεν συγκρατείται, στραγγίζει προς τα κατώτερα στρώματα, ξεπλένει το έδαφος από χρήσιμα θρεπτικά συστατικά και καταλήγει στα υπόγεια νερά.

Αραιότερα ποτίσματα πρέπει να εφαρμόζονται εάν το πότισμα γίνεται με αυλάκια ή καταιονισμό (μπεκ) και πυκνότερα αν το πότισμα γίνεται με σταγόνες.

Με εξαίρεση το πότισμα για φύτευμα, σε καμιά άλλη περίπτωση το νερό που δίνεται σε κάθε πότισμα δεν πρέπει να είναι λιγότερο από 30 κυβ. μέτρα στο στρέμμα, ανεξάρτητα από την μέθοδο ποτίσματος.

Μια παλαιά εμπειρία λέει ότι η ποσότητα του νερού πρέπει να είναι τόση ώστε η υγρασία που προστίθεται στο έδαφος να ενώνεται, με την βοήθεια τριχοειδών πόρων, με την ήδη υπάρχουσα υγρασία του χωραφιού.

Από τους υπολογισμούς των αναγκών σε νερό στα διάφορα στάδια ανάπτυξης των ζαχαρότευτλων, για τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, τις ιδιαιτερότητες της καλλιέργειας και από την εμπειρία που αποκτήθηκε, μπορεί να διαμορφωθεί ένα πρακτικό πρόγραμμα ποτισμάτων στα διάφορα γεωγραφικά διαμερίσματα.

#### ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΟΤΙΣΜΑΤΩΝ (κυβ. μέτρα νερού στο στρέμμα)

	Θεσσαλία	Κεντ. Μακεδονία	Ανατ. Μακεδονία	Θράκη
ΙΟΥΝΙΟΣ	70	70	60	60
(αρ. ποτισμ.)	(1-2)	(1-2)	(1-2)	(1-2)
ΙΟΥΛΙΟΣ	150	130	120	120
(αρ. ποτισμ.)	(2-4)	(2-3)	(2-3)	(2-3)
ΑΥΓΟΥΣΤΟΣ	100	80	70	60
(αρ. ποτισμ.)	(2-3)	(2)	(1-2)	(1-2)

Το πρακτικό ερώτημα «πότε θα ποτίσω» απαντιέται πολύ καλά με ένα πρόγραμμα ποτισμάτων. Ωστόσο συχνά, κάθε χωράφι έχει τις δικές του ατομικές ανάγκες που φαίνονται με την εμφάνιση της φυτείας (π.χ «μεσημέριασμα φυτών» μη παθολογικής προέλευσης), με την έλλειψη εδαφικής υγρασίας ή με άλλους δείκτες που προσφέρει η σύγχρονη τεχνολογία (τασίμετρα κ.α).

Η στενή συνεργασία του τευτοκαλλιεργητή με τον γεωπόνο της EBZ δίνει την δυνατότητα προσαρμογής ενός κατάλληλου προγράμματος ποτισμάτων κατά περίπτωση, σύμφωνα με τις επικρατούσες συνθήκες σε κάθε συγκεκριμένο χωράφι.

Η κρίσιμη λεπτομέρεια για την επιτυχία ενός προγράμματος ποτισμάτων, χαρακτηριστική για τα ζαχαρότευτλα είναι ότι: το πότισμα των φυτών πρέπει να επαναλαμβάνεται πριν η εδαφική υγρασία πέσει χαμηλά, όπως ίσως συμβαίνει σε άλλα καλλιεργούμενα φυτικά είδη.

Η ταχύτητα με την οποία το νερό του ποτίσματος απορροφάται από το επιφανειακό έδαφος, το διαπερνά και πηγαίνει προς τα βαθύτερα στρώματα (διηθητικότητα), πρέπει επίσης, να λαμβάνεται υπόψη ως ιδιαίτερο χαρακτηριστικό κάθε χωραφιού. Στα βαριά εδάφη ή στα συμπιεστά εδάφη όπου ο ρυθμός απορρόφησης είναι πολύ μικρός δημιουργείται πρόβλημα με τα λιμνάζοντα νερά ή με τα νερά που ρέουν επιφανειακά έξω από το χωράφι. Τα εδάφη αυτά πρέπει να ποτίζονται με ποτιστικά συγκροτήματα που έχουν μικρή παροχή νερού (ένταση ποτίσματος) και για περισσότερες ώρες.

## Η ΔΙΗΘΗΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΣΕ ΕΔΑΦΗ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΗΣ ΣΥΣΤΑΣΗΣ

Σύσταση εδάφους	Ρυθμός απορρόφησης νερού ποτίσματος (κυβ. μέτρα την ώρα/ στρέμμα)
-----------------	--

αμμώδες- πολύ ελαφρό	~35
πηλοαμμώδες-ελαφρό	~25
ιλοπηλώδες-μέσο	~15
πηλώδες-σφιχτό	~10
αργιλλώδες-βαρύ	~6

Η διαπίστωση αν το πότισμα έχει ολοκληρωθεί επιβεβαιώνεται πρακτικά με μια χονδρή μετετονόβεργα με την οποία τρυπούμε το χωράφι δύο ημέρες μετά το πότισμα. Αν αυτή φθάσει χωρίς δυσκολία στα 60 εκ. τότε σημαίνει ότι το χωράφι δέχθηκε τη σωστή ποσότητα νερού. Αν όχι, τότε χρειάζεται να προστεθεί και άλλο νερό. Η διαδικασία αυτή γίνεται μια φορά για κάθε χωράφι, και το συμπέρασμα χρησιμοποιείται ως κατευθυντήριο οδηγός για τα επόμενα ποτίσματα της χρονιάς.

Η αξιοποίηση του ποτίσματος επηρεάζεται από το πορώδες του εδάφους και έχει σχέση με τα καλά οργώματα, με τα χαλαρά εδάφη και όχι με τα πατημένα χωράφια.

Εδώ μπορεί να γίνει περισσότερο κατανοητός ο ρόλος και η σημασία που έχει η ισοπέδωση των χωραφιών (συντήρηση με όργωμα προς μια κατεύθυνση με αναστρεφόμενο άροτρο). Τα νεροκρατήματα όποια εποχή και αν συμβαίνουν προκαλούν ζημιά. Το χειμώνα μας εμποδίζουν να δουλέψουμε ή να σπείρουμε έγκαιρα το χωράφι, έστω με μία ή δύο εστίες νεροκρατήματος, το καλοκαίρι δυσκολεύουν τις διελεύσεις των μηχανημάτων, ευνοούν σήψεις και χάνουμε παραγωγή.

Κάτι που επίσης, δεν πρέπει να παραγνωρίζεται είναι ότι το καλό πότισμα συνοδεύεται με καλή στράγγιση. Η στράγγιση, είτε μέσα σε κάθε χωράφι με άνοιγμα αυλακιών (όπου χρειάζονται), με στραγγιστικά κανάλια, είτε με στραγγιστικά έργα ανά περιοχή, αποτελεί βασική προϋπόθεση για το αποτελεσματικό πότισμα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### 3. ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

#### 3.1. Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Φ.Ε.Β)

Ενα έδαφος που έχει ξηρανθεί σε κλίβανο αποτελείται από στερεά σωματίδια και πόρους γεμάτους με αέρα. Το ειδικό βάρος των στερεών σωματιδίων που αναφέρεται σαν πραγματικό ειδικό βάρος του εδάφους είναι σχετικά σταθερό για όλα τα ορυκτά εδάφη με διακύμανση από 2,6 - 2,7  $\text{gr/cm}^3$ . Το ειδικό βάρος του εδάφους μαζί με τους γεμάτους με αέρα πόρους του αναφέρεται σαν **Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Φ.Ε.Β)** και εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την δομή και την μηχανική σύσταση του εδάφους, με αρχή ότι τα περισσότερα χονδρόκοκκα εδάφη έχουν μεγαλύτερο Φ.Ε.Β σε σχέση με τα λεπτόκοκκα.

Το Φ.Ε.Β είναι φυσική ιδιότητα του εδάφους που έχει μεγάλη σημασία για τις αρδεύσεις, επειδή με αυτό είναι δυνατός ο υπολογισμός του όγκου του νερού σε ορισμένο όγκο εδάφους. Στην περιοχή μελέτης πάρθηκε από μία (1) θέση εδαφοτομής δείγματα σε τρία βάθη:

- α. 0-30 cm
- β. 30-60 cm
- γ. 60-90 cm

και μετρήθηκε το Φ.Ε.Β αυτών, όπως φαίνεται στον πίνακα II.

#### 3.2. Ισοδύναμο Υγρασίας (Υδατοϊκανότητα) του εδάφους.

Στην πρακτική των αρδεύσεων είναι ουσιώδες να γνωρίζουμε πόσο από το νερό στο έδαφος μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τις καλλιέργειες για την κανονική ανάπτυξη και απόδοση τους. Το έδαφος από την άποψη αυτή πρέπει να θεωρηθεί σαν μια δεξαμενή που χωράει μια ορισμένη ποσότητα χρήσιμης υγρασίας που το επάνω όριο της είναι το Ισοδύναμο Υγρασίας (Υδατοϊκανότητα).

Επομένως σαν Υδατοϊκανότητα μπορεί να ορισθεί η υγρασία που συγκρατεί ένα βαθύ ομοιόμορφο και καλά στραγγιζόμενο έδαφος μετά την απομάκρυνση του ελεύθερου νερού. Σαν πληρέστερος ορισμός, υδατοϊκανότητα μπορεί να ορισθεί το όριο εκείνο της εδαφικής υγρασίας, στο οποίο η τιμή της τριχοειδούς αγωγιμότητας που αντιστοιχεί είναι τόσο μικρή, ώστε πρακτικά να έχει πάψει κάθε ουσιαστική κίνηση του νερού στο έδαφος, ανεξάρτητα από τις υφιστάμενες υδραυλικές κλίσεις.

Εργαστηριακά ο προσδιορισμός της υδατοικανότητας γίνεται και με την **μέθοδο της Ισοδύναμης Υγρασίας**. Στη μέθοδο αυτή, ένα μικρό δείγμα κορεσμένου εδάφους υποβάλλεται σε περιστροφική κίνηση, μέσα σε μια ειδική συσκευή φυγοκέντρησης, έτσι ώστε το δείγμα να βρίσκεται υπό την επίδραση δύναμης ίσης με 1000 g. Μετά την φυγοκέντρωση προσδιορίζεται η υγρασία του δείγματος η οποία αντιστοιχεί στην υδατοικανότητα του συγκεκριμένου εδάφους.

Στην παρούσα μελέτη η υδατοικανότητα μετρήθηκε στα δείγματα στα οποία μετρήθηκε το Φ.Ε.Β., όπως φαίνεται στον πίνακα II. Συμπερασματικά μπορούμε να αναφέρουμε ότι το Ισοδύναμο Υγρασίας (Υδατοικανότητα) των εδαφών της περιοχής αυξάνεται όσο βαίνουμε από τα χονδρόκοκκα προς τα λεπτόκοκκα.

### 3.3. Σημείο Μόνιμης Μάρανσης

Ενώ η Υδατοικανότητα αποτελεί το επάνω όριο της χρήσιμης για τα φυτά υγρασίας, το αντίστοιχο κάτω όριο αυτής είναι το **Σημείο Μόνιμης Μάρανσης**. Όταν η εδαφική υγρασία φθάσει στο σημείο αυτό, τα φυτά δεν μπορούν να πάρουν από το έδαφος όλο το νερό που χρειάζονται για την κάλυψη των αναγκών τους και για τον λόγο αυτό αρχίζουν να μαραίνονται. Το Σημείο Μάρανσης δεν είναι σταθερό αλλά εξαρτάται από τους εξής παράγοντες :

- α. Την μηχανική σύσταση και δομή του εδάφους.
- β. Την συγκέντρωση των αλάτων στο έδαφος.
- γ. Το είδος και την κατάσταση που βρίσκονται τα φυτά.
- δ. Τις ειδικές συνθήκες της περιοχής.

Λόγω των παραπάνω παραγόντων η τάση της εδαφικής υγρασίας που αντιστοιχεί στο Σημείο Μάρανσης κυμαίνεται από 7 atm μέχρι 32 atm. Η διαφορά όμως αυτή σε τάση δεν σημαίνει ανάλογη διαφορά και σε περιεχόμενη υγρασία. Είναι παρατηρημένο ότι, στα χαμηλά αυτά επίπεδα, μεγάλες μεταβολές της τάσεως συνεπάγονται μικρές μεταβολές της υγρασίας. Σήμερα, σαν αντιπροστατευτική τάση του Σημείου Μάρανσης όλων των εδαφών, έγινε δεκτή η τάση των 15 atm.

Όταν η υγρασία του εδάφους φθάσει στο Σημείο Μάρανσης η ανάπτυξη των φυτών σταματάει. Τα φυτά εξακολουθούν να παίρνουν μικρές ποσότητες νερού από

το έδαφος και κάτω από το Σημείο Μάρανσης οι οποίες είναι ικανές να τα κρατήσουν στην ζωή. Αν η υγρασία ελαττωθεί ακόμη περισσότερο θα προκληθεί μάρανση και θάνατος των φυτών. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο αυτό μπορεί να φθάσει μέχρι τις 60 atm. Στην παρούσα μελέτη το **Σημείο Μάρανσης** υπολογίστηκε από το Ισοδύναμο Υγρασίας διαιρούμενο δια του σταθερού συντελεστού 1,82 ή παλλαπλασιαζόμενο με τον σταθερό συντελεστή 0,55.

### 3.4. Διαθέσιμη Υγρασία (Δ.Υ)

Είναι το νερό που μπορεί να κρατήσει ένα έδαφος ανάμεσα στο **Σημείο Μόνιμης Μάρανσης και το Ισοδύναμο Υγρασίας (Υδατοικανότητα)**. Η **Διαθέσιμη Υγρασία** διαμορφώνεται ανάλογα με την μηχανική σύσταση και την δομή του εδάφους. Γενικά, τα χονδρόκοκκα (αμμώδη) εδάφη που στραγγίζουν καλά έχουν μικρή διαθέσιμη υγρασία, ακολουθούν τα μέσα (ιλυώδη) και μετά έρχονται τα λεπτόκοκκα (αργιλλώδη) που έχουν μεγάλη διαθέσιμη υγρασία. Στην παρούσα μελέτη η Διαθέσιμη Υγρασία (Δ.Υ) υπολογίστηκε από το Ισοδύναμο Υγρασίας (Ι.Υ), το Σημείο Μάρανσης (Σ.Μ), το Φαινόμενο Ειδικό Βάρος (Φ.Ε.Β) και το Πάχος Εδαφικής Στρώσης (Η) με τον παρακάτω τύπο.

$$\Delta Y = \frac{IY - \Sigma M}{10} \Phi.E.B.*H$$

όπου :

Δ.Υ = Διαθέσιμη Υγρασία σε mm πάχους υδάτινου στρώματος.

Ι.Υ = Ισοδύναμο Υγρασίας εκφρασμένο % ξηρού βάρους.

Σ.Μ = Σημείο Μάρανσης εκφρασμένο % ξηρού βάρους.

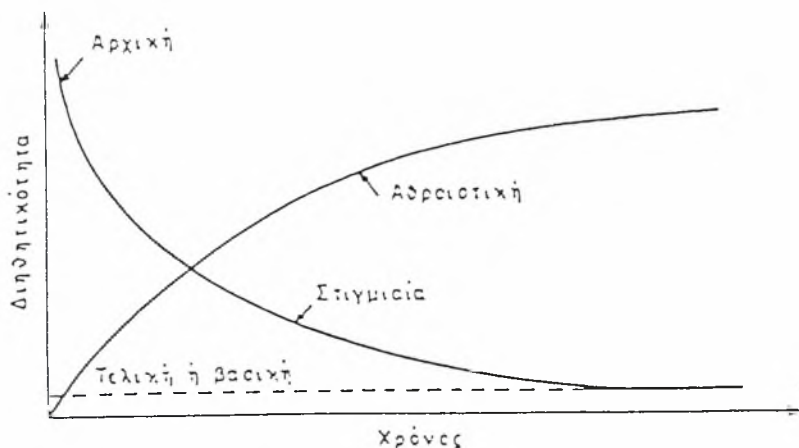
Φ.Ε.Β = Φαινόμενο Ειδικό Βάρος σε gr/cm<sup>3</sup> που λαμβάνεται αδιάστατο στην παραπάνω εξίσωση.

Η = Πάχος Εδαφικής Στρώσης σε cm.

### 3.5 Διηθητικότητα του εδάφους

Με τον όρο Διηθητικότητα αναφερόμαστε στην κίνηση του νερού μέσα στο έδαφος από την επιφάνεια του. Η διείσδυση αυτή του νερού στο έδαφος, εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους, την μηχανική σύσταση, την δομή, την περιεκτικότητα σε οργανική ουσία, την εδαφική υγρασία στα αρχικά στάδια αυτής, την περιεκτικότητα του νερού σε άλατα κ.λ.π.

Η ταχύτητα με την οποία το νερό διηθείται στο έδαφος δεν είναι σταθερή με τον χρόνο. Αρχικά η ταχύτητα αυτή είναι πολύ μεγάλη (εφόσον το έδαφος είναι ξερό) αλλά, με την πάροδο του χρόνου, ελλατώνεται σημαντικά μέχρι κάποιο όριο που από εκεί και πέρα παραμένει σταθερή. Η ταχύτητα διηθήσεως στην αρχή του φαινομένου λέγεται **Αρχική Διηθητικότητα** και η σταθερή τιμή που επιτυγχάνεται μετά την παρέλευση αρκετού χρόνου λέγεται **Τελική ή Βασική Διηθητικότητα**. Η ταχύτητα διηθήσεως σε οποιαδήποτε στιγμή κατά την διάρκεια του φαινομένου λέγεται **Στιγμιαία Διηθητικότητα**. Από τα παραπάνω βγαίνει σαν συμπέρασμα ότι η Αρχική και η Τελική Διηθητικότητα αποτελούν τις δύο οριακές τιμές της Στιγμιαίας Διηθητικότητας. Αν σ' ένα διάγραμμα τοποθετηθούν τα σημεία που αντιστοιχούν στις τιμές της Στιγμιαίας Διηθητικότητας για κάθε χρονική στιγμή, τότε σχηματίζεται η καμπύλη της Στιγμιαίας Διηθητικότητας. Η ποσότητα του νερού που διηθείται στο έδαφος από την αρχή του φαινομένου μέχρι κάποιο χρόνο λέγεται **Αθροιστική Διηθητικότητα**. Αν σε ένα διάγραμμα τοποθετηθούν Αθροιστικές Διηθητικότητες που αντιστοιχούν σε διάφορους χρόνους σχηματίζεται η καμπύλη της Αθροιστικής Διηθητικότητας. Οι καμπύλες της Στιγμιαίας και της Αθροιστικής Διηθητικότητας έχουν πρωταρχική σημασία στην εφαρμογή των αρδεύσεων διότι, με βάση αυτές, καθορίζεται ο ρυθμός εφαρμογής του νερού και η διάρκεια της αρδεύσεως. Τυπικές καμπύλες διηθητικότητας δίνονται στο παρακάτω σχήμα 3.1.



Σχήμα 3.1. Τυπικές καμπύλες στιγμιαίας και αθροιστικής διηθητικότητας

Τη βασική ή τελική διηθητικότητα χρησιμοποιούμε στις αρδεύσεις προκειμένου να καθορίσουμε πιο σύστημα άρδευσης θα εφαρμόσουμε σε κάθε περίπτωση. Η τιμή αυτή αποτελεί βασικό στοιχείο για τις μελέτες αρδευτικών δικτύων. Στην άρδευση με τεχνική βροχή, όταν χρησιμοποιούμε ωριαίο ύψος βροχής μεγαλύτερο της διηθητικότητας του εδάφους, τότε το πλεονάζον νερό δρά δυσμενώς επί της επιφάνειας του εδάφους, διαλυτοποιεί τα συσσωματώματα και σχηματίζει την επιβλαβή κρούστα. Αν το νερό αυτό τελικά δε διηθηθεί, εξατμίζεται ή απορρέει. Όταν το ωριαίο ύψος βροχής είναι μικρότερο της διηθητικότητας του εδάφους, τότε παρατείνεται ο χρόνος άρδευσης, οπότε αυξάνονται οι απώλειες από την εξάτμιση.

Οι περιπτώσεις που αναφέρθηκαν έχουν ως συνέπεια τη μείωση του βαθμού απόδοσης κατά την εφαρμογή του αρδευτικού νερού. Ητοι την απώλεια πολύτιμου αρδευτικού νερού, απώλεια υδατοδιαλυτών θρεπτικών συστατικών του εδάφους και του λεπτόκοκκου υλικού αυτού.

Αν όμως μετρηθεί από πριν η διηθητικότητα του εδάφους μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος εφαρμογής του νερού για τη χορήγηση της απαιτούμενης κάθε φορά αρδευτικής δόσης, να υπολογιστεί η παροχή ανα μονάδα αρδευτικής δόσης καθώς και η παροχή ανα μονάδα αρδευόμενης επιφάνειας.

### Παράγοντες που επηρεάζουν την διηθητικότητα των αγρών

Η διήθηση του νερού στο έδαφος εξαρτάται από την κατάσταση της επιφάνειας και τα υδραυλικά χαρακτηριστικά του.

Η μείωση της διηθητικότητας απο μία αρχική υψηλή τιμή οφείλεται συνήθως στην βαθμιαία υποβάθμιση της δομικής συγκρότησης (καταστροφή της δομής) του



επιφανειακού εδαφικού στρώματος που έχει σαν αποτέλεσμα το επιφανειακό σφράγισμα του εδάφους λόγω δημιουργίας μιάς συνεκτικής επιφανειακής κρούστας. Εδάφη με μεγάλους πόρους και ανοικτή δομή παρουσιάζουν μεγάλη διηθητικότητα. Το αντίθετο συμβαίνει με τα συνεκτικά εδάφη που, αν και έχουν μεγάλο πορώδες, το μέγεθος των πόρων τους είναι μικρό και η δομή τους σφιχτή. Αλλα εδάφη διαστέλλονται όταν διαβρέχονται με αποτέλεσμα να κλείσουν οι πόροι τους και να γίνονται σχεδόν αδιαπέραστα στο νερό. Τα ίδια εδάφη, κατά κανόνα, όταν ξεραίνονται σχηματίζουν ρωγμές από τις οποίες το νερό μπορεί να διεισδύσει ταχύτατα με αποτέλεσμα να έχουν πολύ μεγάλη αρχική διηθητικότητα.

Στα χωράφια, κάτω από την επίδραση της καλλιεργητικής και αρδευτικής πρακτικής, μπορεί να δημιουργηθούν συνθήκες τέτοιες που να βελτιώνουν ή να επιδεινώνουν τη διηθητικότητά τους. Παράγοντες που επηρεάζουν την διηθητικότητα στα χωράφια είναι:

**1. Η στεγανοποίηση της επιφάνειας του εδάφους.** Μερικές φορές στην επιφάνεια του χωραφιού σχηματίζεται μια λεπτή συμπαγής κρούστα που περιορίζει δραστικά τη διήθηση. Η κρούστα αυτή είναι αποτέλεσμα της καταστροφής της δομής του επιφανειακού εδάφους, (1) από την πρόσκρουση των σταγόνων της βροχής ή του καταιονισμού και (2) από μεταφορά λεπτόκοκκου υλικού με το νερό που εφαρμόζεται στο χωράφι με επιφάνειακή άρδευση το οποίο γεμίζει τους πόρους ανάμεσα στα εδαφομόρια.

Η κρούστα μπορεί να προληφθεί αν όλη η επιφάνεια του χωραφιού καλύπτεται από την καλλιέργεια. Η ήδη σχηματισμένη κρούστα μπορεί να καταστραφεί με ελαφρό δισκάρισμα ή σκάλισμα πριν την εφαρμογή της αρδεύσεως.

**2. Η δημιουργία υπεδάφιας αδιαπέρατης στρώσης.** Όταν το έδαφος είναι σχετικά συνεκτικό και υγρό, τα εδαφοκαλλιεργητικά μηχανήματα το συμπιέζουν, αμέσως κάτω απ' το βάθος στο οποίο φθάνουν (10 με 15 cm) με αποτέλεσμα να δημιουργείται στη θέση αυτή μια συμπαγής στρώση που δρα ανασχετικά στην προς τα κάτω κίνηση του νερού. Η στρώση αυτή μπορεί να καταστραφεί με βαθειά άροση ή χρήση υπεδάφοκαλλιεργητών. Με τον τρόπο αυτό στη θέση της συμπαγούς στρώσεως δημιουργούνται ευρείς πόροι που επιτρέπουν την άνετη κίνηση του νερού.

**3. Η προσθήκη οργανικών υλικών.** Αν ένα έδαφος περιέχει οργανικά υλικά, το πορώδες του παραμένει σχετικά υψηλό και έχει καλή διήθηση που εξαρτάται απ' το βαθμό αποσυνθέσεως των υλικών αυτών. Η προσθήκη οργανικής ουσίας βελτιώνει σημαντικά τη διηθητικότητα ορισμένων σχετικά συνεκτικών εδαφών.

**4. Οι εδαφοκαλλιεργητικές εργασίες.** Η καλλιεργητική πρακτική που ακολουθείται σήμερα από τους αγρότες ευνοεί το σχηματισμό της συμπαγούς υπεδάφιας στρώσης που διακόπτει τη συνέχεια των φυσικών αγωγών της επιφανειακής στρώσης με το υποκείμενο έδαφος.

**5. Τα φερτά υλικά του αρδευτικού νερού.** Το αρδευτικό νερό μεταφέρει τα λεπτόκκοκα υλικά και τα αποθέτει στο χωράφι. Σε αμμώδη εδάφη όταν το αρδευτικό νερό μεταφέρει σημαντικές ποσότητες αργίλλου και ιλύος βελτιώνουν τα χαρακτηριστικά του εδάφους και περιορίζουν την πολύ γρήγορη διήθηση του νερού. Στα βαρειάς κοκκομετρικής σύστασης (αργιλλώδη εδάφη) τέτοιο νερό κάνει την επιφάνεια τους αδιαπέρατη.

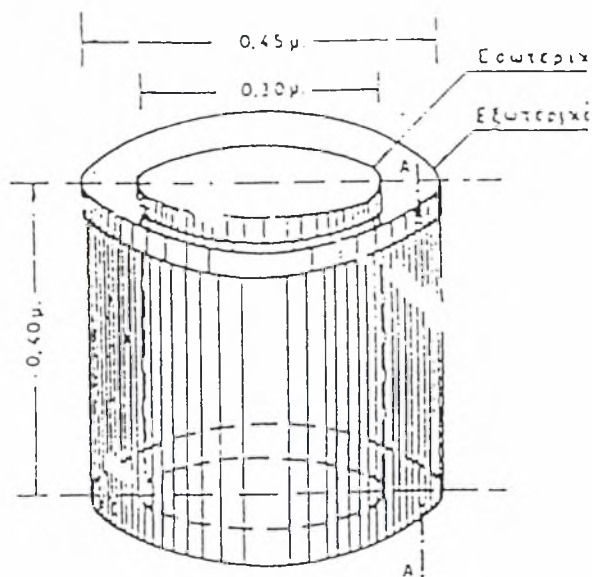
**6. Η διάβρωση του εδάφους.** Η διάβρωση του εδάφους μπορεί να οφείλεται σε φυσικά αίτια ή σε μη σωστή εφαρμογή του νερού με τις επιφανειακές μεθόδους αρδεύσεως. Αν η μετακίνηση του επιφανειακού εδάφους αποκαλύψει πίο συνεκτικό υπέδαφος η διηθητικότητα θα περιορισθεί.

**7. Η περιεκτικότητα του αρδευτικού νερού σε άλατα.** Η προσθήκη αλάτων του νατρίου με το αρδευτικό νερό στο έδαφος καταστρέφει τη δομή του και το μεταβάλλει σε άμορφη συμπαγή μάζα.

**8. Η θερμοκρασία του νερού.** Η θερμοκρασία έχει σημαντική επίδραση στη διηθητικότητα γιατί επηρεάζει σημαντικά το ιξώδες του νερού. Νερό με χαμηλή θερμοκρασία έχει μεγαλύτερο ιξώδες και μικρότερη διηθητικότητα απ' ότι νερό με υψηλή θερμοκρασία.

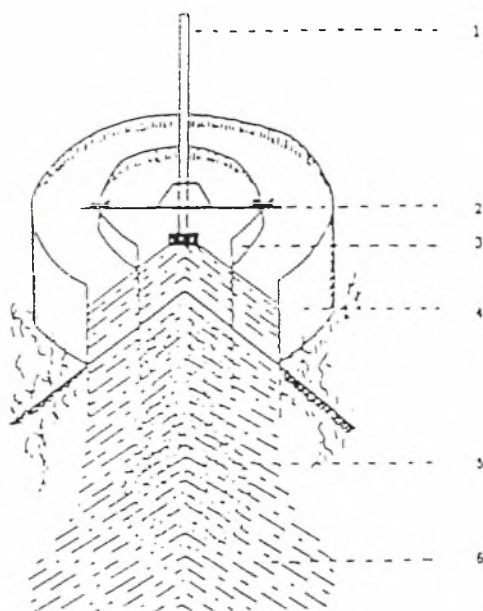
#### **Μέτρηση της διηθητικότητας με τη μέθοδο των ομοκέντρων κυλίνδρων**

Κατά τη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούμε δυο ομόκεντρους κυλίνδρους όπως φαίνονται στο σχήμα 3.2.



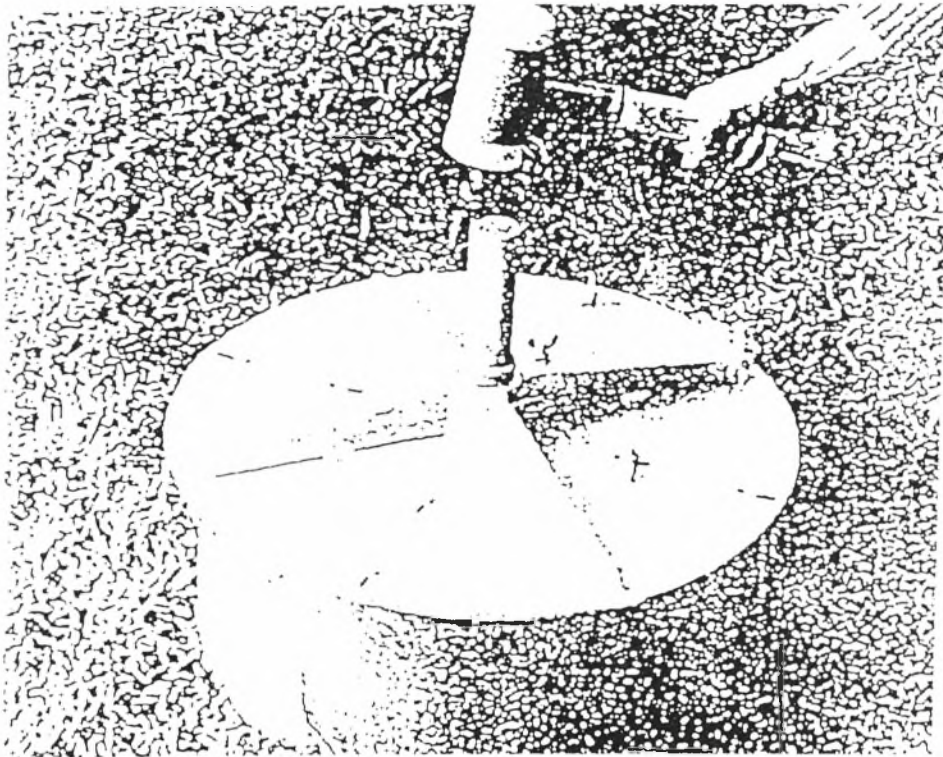
Σχήμα 3.2. Ομόκεντροι κύλινδροι

Εκτός από τους δυο κυλίνδρους η μέθοδος περιλαμβάνει ένα διηρημένο πήχυ σε mm προσαρμοσμένο σε πλωτήρα για να παρακολουθεί τη στάθμη του νερού, ένα συγκρατήρα του πλωτήρα σχήμα 3.3, την πλάκα πίεσεως και ένα χρονόμετρο.



Σχήμα 3.3. Πλωτήρας

Εμπνηγνύουμε και τους δύο κυλίνδρους ταυτόχρονα ομοκεντρικά στο έδαφος κτυπώντας την πλάκα πίεσεως με το ειδικό σφυρί, σχήμα 3.4, σε βάθος τουλάχιστον 15 cm για τα συνεκτικά και 25 cm για τα αμμώδη εδάφη.



Σχήμα 3.4. Πλάκα πίεσεως

Ο εξωτερικός κύλινδρος χρησιμεύει για να παρεμποδίζεται η πλάγια κίνηση του νερού από τον εσωτερικό κύλινδρο. Μετά τη τοποθέτηση των κυλίνδρων τοποθετούμε το συγκρατήρα του πλωτήρα στον εσωτερικό κύλινδρο όπου τοποθετείται ο πλωτήρας μετρητής.

Γεμίζουμε με νερό τους κυλίνδρους με ποσότητα περίπου ίση με εκείνη που θα εφαρμοζόταν για άρδευση. Αμέσως μετά την πλήρωση των κυλίνδρων με νερό γίνεται η πρώτη παρατήρηση της πτώσης της στάθμης και του αντίστοιχου χρόνου όπως φαίνεται στις στήλες του πίνακα IV. Συνήθως οι παρατηρήσεις γίνονται στην αρχή τρεις ανά 3 λεπτά, μετά ανά 5 λεπτά και στην συνέχεια ανά 10 ή 15 ή 20 ανάλογα με την κρίση του παρατηρητή και τα χαρακτηριστικά του εδάφους. Μετά από ορισμένο χρόνο βλέπουμε ότι σε ίσους χρόνους διηθείται ίση ποσότητα νερού δηλ. η διηθητικότητα λαμβάνει μια σταθερή τιμή που την ονομάζουμε βασική ή τελική διηθητικότητα.

Σταματάμαι τις μετρήσεις όταν πάρουμε τρεις τουλάχιστον σταθερές τιμές σε διαδοχικά χρονικά διαστήματα.

Για να έχουμε καλά αποτελέσματα κατά τη μέτρηση της διηθητικότητας με ομοκέντρικούς κύλινδρους πρέπει να έχουμε τα εξής.

α) Οι κύλινδροι να είναι εμπηγμένοι στο έδαφος σε βάθος για να αποφεύγουμε την πλάγια κίνηση του νερού.

β) Το εφαρμοζόμενο νερό να είναι ίσο με την προς άρδευση δόση και να διατηρείται κατά το δυνατό σταθερό.

γ) Οι δυο κύλινδροι να έχουν την ίδια ποσότητα (στο αυτό ύψος ) νερού διότι αν ο εσωτερικός κύλινδρος έχει χαμηλότερη στάθμη το νερό θα περνάει από τον έξω κύλινδρο στον μέσα σχήμα 3.6, ενώ αντίθετα θα έχουμε πλάγια κίνηση του νερού.

δ) Η υγρασία του εδάφους κατά το χρόνο της μέτρησης να είναι εκείνη που εφαρμοζόταν η άρδευση.

ε) Η υπόγεια στάθμη νερού να είναι κάτω από το βάθος του κυρίως ριζοστρώματος των καλλιεργειών.

στ) Το βάθος των σχισμών που υπάρχουν στο έδαφος να μη έχουν βάθος μεγαλύτερο από 10 cm.

ζ) Κατά τον χρόνο της μέτρησης να τοποθετούμε τουλάχιστον στον εσωτερικό κύλινδρο τσουβάλι από λινάρι ώστε το νερό που θα ρίχνουμε να μη διαταράσσει το έδαφος.

#### **Υπολογισμός Αθροιστικής Διηθητικότητας ( $\Psi$ )**

Ο υπολογισμός της αθροιστικής διηθητικότητας έγινε με την σχέση του ΚΟΣΤΙΑΚΟΒ, που συνδέει το συνολικό ύψος νερού που διηθείται σ' ένα ορισμένο χρονικό διάστημα, με το χρόνο εφαρμογής του νερού στο έδαφος. Η σχέση αυτή έχει τη μορφή:

$$\Psi = \alpha \cdot t^{\beta}$$

όπου  $\Psi$  είναι το συνολικό ύψος νερού σε cm (Αθροιστική Διηθητικότητα) που διηθείται στον χρόνο  $t$  σε min,  $\alpha$  και  $\beta$  οι σταθερές που προσδιορίζονται με βάση τις μετρήσεις διηθητικότητας.



Ο υπολογισμός των  $\alpha$  και  $\beta$  γίνεται στατιστικά με την μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων και με χρησιμοποίηση των λογαρίθμων των μεταβλητών  $\Psi$  και  $t$ . Οι κανονικές εξισώσεις που δίνουν τους συντελεστές  $\alpha$  και  $\beta$  είναι οι εξής:

$$\beta = \frac{n \sum_{i=1}^n \log \Psi_i \log t_i - \sum_{i=1}^n \log \Psi_i \sum_{i=1}^n \log t_i}{n \sum_{i=1}^n (\log t_i)^2 - (\sum_{i=1}^n \log t_i)^2}$$

και

$$\log \alpha = \frac{\sum_{i=1}^n \log \Psi_i - \beta \sum_{i=1}^n \log t_i}{n}$$

όπου  $n$  είναι ο συνολικός αριθμός των μετρήσεων.

Για τον σωστό υπολογισμό των  $\alpha$  και  $\beta$  πάρθηκαν πυκνές μετρήσεις στα αρχικά στάδια του φαινομένου επειδή τότε το φαινόμενο της διήθησης είναι έντονο. Έτσι στη μελέτη αυτή, οι μετρήσεις έγιναν στην αρχή ανά λεπτό στην συνέχεια ανά τρία λεπτά, ακολούθησαν ανά πέντε λεπτά και στο τέλος ανά δεκάλεπτο ή εικοσάλεπτο, έως ότον τρεις τουλάχιστον διαδοχικές παρατηρήσεις παρουσίασαν τον ίδιο ρυθμό πτώσης της στάθμης.

Το μειονέκτημα των χρονοβόρων πράξεων αντιμετωπίστηκε με τον προγραμματισμό των παρακάτω σχέσεων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή οπότε ο χρόνος μειώθηκε αρκετά σε σύγκριση με τον χρόνο που απαιτείται με τη γραφική μέθοδο.

Οι σχέσεις της Αθροιστικής Διηθητικότητας που προέκυψαν σύμφωνα με την ανωτέρω μέθοδο φαίνονται στον πίνακα II. Στις σχέσεις αυτές η Αθροιστική Διηθητικότητα  $\Psi$  μετράται σε cm και ο συνολικός χρόνος ( $t$ ) σε min.

Γνωρίζοντας τη σχέση της Αθροιστικής Διηθητικότητας μπορεί να υπολογισθεί ο χρόνος ( $t$ ) που απαιτείται για την εφαρμογή στο χωράφι του νερού αρδεύσεως  $\Psi$ . Ο χρόνος αυτός δίνεται από τη σχέση :

$$t = \left( \frac{\Psi}{\alpha} \right)^{1/\beta}$$

**Υπολογισμός Στιγμιαίας Διηθητικότητας (I)**

Η σχέση της Στιγμιαίας Διηθητικότητας, δηλαδή της ταχύτητας διηθήσεως σε κάθε χρονική στιγμή, υπολογίζεται με την παραγωγή, ως προς τον χρόνο της σχέσης του ΚΟΣΤΙΑΚΟΒ που δίνει την Αθροιστική Διηθητικότητα

$$\Psi = \alpha * t^{\beta}$$

**Ετσι έχουμε :**

$$I = \frac{d\Psi}{dt} = \beta * \alpha * t^{\beta-1}$$

όπου I είναι η στιγμιαία διηθητικότητα σε cm/min και t ο χρόνος σε min.

Οι σχέσεις της Στιγμιαίας Διηθητικότητας στην μελέτη αυτή φαίνονται στον πίνακα II στις διάφορες θέσεις που έγιναν μετρήσεις.

Πρέπει να τονισθεί ότι οι σχέσεις τόσο της Αθροιστικής όσο και της Στιγμιαίας Διηθητικότητας ισχύουν μέχρι την χρονική στιγμή που επιτυγχάνεται η Τελική (Βασική) Διηθητικότητα. Ο χρόνος όμως αυτός είναι συνήθως επαρκής διότι, μέσα στον χρόνο αυτό επιτυγχάνεται η άρδευση της περιοχής.

**Υπολογισμός Τελικής ή Βασικής Διηθητικότητας (Δ)**

Η μέτρηση της διηθητικότητας τελειώνει όταν τουλάχιστον τρεις διαδοχικές ισόχρονες μετρήσεις δείχνουν την ίδια τιμή πτώσης της στάθμης του νερού. Η τιμή αυτή της πτώσης αναγόμενη στην ώρα δίνει την Τελική ή Βασική Διηθητικότητα (Δ)

Οι τιμές της τελικής διηθητικότητας που προσδιορίστηκαν στην παρούσα μελέτη φαίνονται στον πίνακα II.

Πίνακας II.ΒΑΣΙΚΗ, ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ

ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Δ) (cm/h)	ΑΘΡΟΙΣΤΙΚΗ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (Υ) (mm)	ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑ (I) (mm/h)
Δ1	0.60	5.0245 t <sup>0.419</sup>	126.3124 t <sup>-0.581</sup>

Με βάση αυτή την Τελική Ταχύτητα Διήθησης (Τ.Τ.Δ) σε cm/h, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη το παρακάτω σύστημα χαρακτηρισμού της διηθητικότητας (πίνακας III.) που δείχνει ότι η διηθητικότητα του χωραφιού μας είναι μετρίως βραδεία.

**Πίνακας III. Κατηγορίες διηθητικότητας**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΒΑΣΙΚΗΣ ή ΤΕΛΙΚΗΣ ΔΙΗΘΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	ΤΕΛΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΙΗΘΗΣΗΣ (cm/h)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΕΛΙΚΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ ΔΙΗΘΗΣΗΣ
I	<0,1	ΠΟΛΥ ΒΡΑΔΕΙΑ
II	0,1 - 0,5	ΒΡΑΔΕΙΑ
III	0,6 - 2,0	ΜΕΤΡΙΩΣ ΒΡΑΔΕΙΑ
IV	2,1 - 6,5	ΜΕΤΡΙΑ
V	6,6 - 12,5	ΜΕΤΡΙΩΣ ΤΑΧΕΙΑ
VI	12,6 - 25	ΤΑΧΕΙΑ
VII	>25	ΠΟΛΥ ΤΑΧΕΙΑ



Φωτογραφία 6.2 Μέτρηση της διηθητικότητας στο χωράφι.

Πίνακας IV ΔΕΛΤΙΟ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΩΝ ΔΙΗΘΗΤΟΜΕΤΡΟΥ

Παρατηρητής : Βασίλειος Καπετάνος

Ημερομηνία: 19-09-1997

Χρόνος σε min			Διήθηση σε mm		
Ωρα	Διαφορά	Αθροιστικός	Στάθμη νερού	Διαφορά	Αθροιστικός
11:30		0	6,5		0
	1			0,3	
11:31		1	6,2		0,3
	1			0,4	
11:32		2	5,8		0,7
	1			0,5	
11:33		3	5,3		1,2
	2			0,4	
11:35		5	4,9		1,6
	2			0,4	
11:37		7	4,5		2
	2			0,4	
11:39		9	4,1		2,4
	3			0,5	
11:42		12	3,6		2,9
	3			0,5	
11:45		15	3,1		3,4
	3		Προσ/ση νερού		
11:50		18	8,2		
	5			0,6	
11:55		23	7,4		4
	5			0,6	
12:00		28	6,8		4,6
	5			0,6	
12:05		33	6,2		5,2
	10			0,8	
12:15		43	5,4		6,0
	10			0,8	
12:25		53	4,6		6,8
	10			0,8	
12:35		63	3,8		7,6
	20			1,2	
12:55		83	2,6		8,8
	20			1,2	
13:15		103			10
	20		1,4	1,2	
13:35		123			11,2

### 3.6. Η υδραυλική αγωγιμότητα

#### 3.6.1 Γενικά

Η ικανότητα μεταφοράς νερού στα ακόρεστα και κορεσμένα εδάφη περιγράφεται με την παράμετρο που ονομάζεται τριχοειδής ή ακόρεστη (unsaturated hydraulic conductivity) και κορεσμένη (saturated hydraulic conductivity) υδραυλική αγωγιμότητα αντίστοιχα. Ο μακροσκοπικός ορισμός τη υδραυλικής αγωγιμότητας απορρέει από το γενικευμένο νόμο του Darcy.

$$K = -\frac{q}{\nabla(h - z)}$$

όπου  $K$  είναι η υδραυλική αγωγιμότητα που εξαρτάται από το είδος του ρευστού (πυκνότητα), από την θερμοκρασία (ιξώδες) και από την περιεχόμενη στο έδαφος υγρασία,  $q$  είναι η ειδική παροχή,  $h$  η εδαφική τάση και  $z$  η κατακόρυφη συντεταγμένη όπου ο κατακόρυφος θετικός άξονας  $z$  διευθύνεται προς τα κάτω.

Στα κορεσμένα με νερό εδάφη η υδραυλική αγωγιμότητα  $K$  (κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα) είναι σταθερή  $K = K_s$  ( $L T^{-1}$ ).

Γιά ακόρεστα με νερό εδάφη η υδραυλική αγωγιμότητα  $K$  (ακόρεστη υδραυλική αγωγιμότητα) δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από την εδαφική υγρασία  $\theta$ , ή από το ύψος πίεσεως,  $h$ . Είναι δηλαδή  $K=f(\theta)$  ή  $K=f(h)$ .

#### 3.6.2 Μέτρηση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας

Η μέτρηση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας είναι ιδιαίτερης σημασίας λόγω της χρήσεως τους στον σχεδιασμό και τον έλεγχο των αρδεύσεων, των στραγγίσεων, στην αποθήκευση επικίνδυνων αποβλήτων στις δεξαμενές σήψης και σ' άλλες αγροτικές, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εγκαταστάσεις. Στα φυσικά εδάφη η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζεται κυρίως από το εύρος μεγέθους των πόρων, αλλά και από άλλους επιπλέον παράγοντες, όπως είναι οι ρωγμές τόσο στην επιφάνεια όσο και μέσα στη μάζα τους, οι διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές κλπ. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα θα πρέπει να προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε έδαφος,



γιατί οι παράγοντες που την επηρεάζουν δεν μπορούν να συμπεριληφθούν σε μία γενική μαθηματική διατύπωση.

Η μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό ( $K_s$ ) γίνεται στο εργαστήριο σε δείγματα εδάφους ή απευθείας στο χωράφι και εκφράζεται με τις συνηθισμένες μονάδες μέτρησης της ταχύτητας όπως cm/sec, m/sec, m/ώρα ή και m/24ωρο.

Η υδραυλική αγωγιμότητα στον αγρό για τις ανάγκες αυτής της μελέτης μετρήθηκε με το υδροπερατόμετρο Guelph σε μία αντιπροσωπευτική θέσης και σε βάθη όπως αυτά φαίνονται στον πίνακα V6.

### **3.6.3 Μέθοδοι μέτρησης της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας**

Οι μέθοδοι για την μέτρηση της κορεσμένης υδραυλικής αγωγιμότητας είναι ιδιαίτερης σημασίας λόγω της χρήσεώς τους στον σχεδιασμό και τον έλεγχο των αρδεύσεων, των στραγγίσεων, στην αποθήκευση επικίνδυνων αποβλήτων στις δεξαμενές σήψης και σ' άλλες αγροτικές, βιομηχανικές και περιβαλλοντικές εγκαταστάσεις. Στα φυσικά εδάφη η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα επηρεάζεται κυρίως από το εύρος μεγέθους των πόρων, αλλά και από άλλους επιπλέον παράγοντες, όπως είναι οι ρωγμές τόσο στην επιφάνεια όσο και μέσα στη μάζα τους, οι διάφορες φυσικοχημικές μεταβολές κλπ. Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα θα πρέπει να προσδιορίζεται πειραματικά για κάθε έδαφος, γιατί οι παράγοντες που την επηρεάζουν δεν μπορούν να συμπεριληφθούν σε μία γενική μαθηματική διατύπωση.

Η μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας όταν το έδαφος είναι κορεσμένο με νερό ( $K_s$ ) γίνεται στο εργαστήριο σε δείγματα εδάφους ή απευθείας στο χωράφι και εκφράζεται με τις συνηθισμένες μονάδες μέτρησης της ταχύτητας όπως cm/sec, m/sec, m/ώρα ή και m/24ωρο.

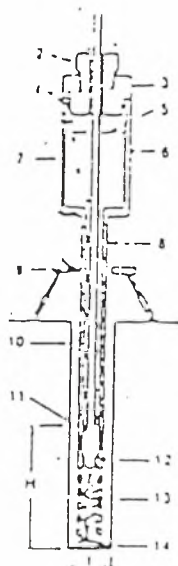
### **3.6.4 Μετρήσεις της Υδραυλικής αγωγιμότητας στον αγρό.**

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι που έχουν αναπτυχθεί για την μέτρηση της υδραυλικής αγωγιμότητας  $K_s$  επί τόπου στον αγρό, όπως είναι οι μέθοδοι του φρεατίου (Auger hole method) και η μέθοδος του πιεζομέτρου (Piezometer method), οι οποίες εφαρμόζονται κύρια στα εδάφη που υπόγεια στάθμη είναι πολύ υψηλή.

### 3.6.5 Μέθοδος μέτρησης $K_f$ με τη χρήση του υδροπερατομέτρου Guelph

Η μέθοδος αυτή έχει το πλεονέκτημα ότι, η συσκευή από την οποία αποτελείται, απαιτεί εργαλεία απλά, φθηνά και εύκολα να μεταφερθούν, μικρές ποσότητες νερού και μπορεί να εφαρμοσθεί από ένα μόνο άτομο και σε σύντομο χρόνο να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα (Reynolds and Elrick, 1985).

Η συσκευή του υδροπερατομέτρου Guelph είναι κατά βάση ένα "In hole" σифώνιο Mariotte, κατασκευασμένο από διαφανείς πλαστικούς σωλήνες. Αποτελείται από εξαρτήματα που φαίνονται στο σχήμα (3.5).

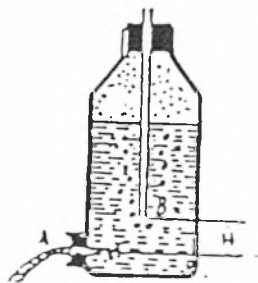


1. Σωλήνας εισαγωγής αέρα.
2. Βιδωτό κολάρο.
3. Κινητό κάλυμμα.
4. Κινητό αεροστεγές πώμα.
5. Επιφάνεια νερού.
6. Κλίμακα μέτρησης.
7. Σωλήνας της δεξαμενής.
8. Εξωτερικός σωλήνας.
9. Σηναρμολογούμενος τρίποδας.
10. Φρεάτιο.
11. Σταθερό ύψος νερού στο φρεάτιο.
12. Εξοδος νερού στο φρεάτιο.
13. Άκρον περατομέτρου
14. Ελαστικό πώμα.

Σχήμα 3.5 Περιγραφή εξαρτημάτων του υδροπερατομέτρου Guelph.

Η λειτουργία της συσκευής στηρίζεται στην αρχή του δοχείου Mariotte, σχήμα (3.6). Με το δοχείο αυτό επιτυγχάνουμε σταθερή παροχή νερού. Το δοχείο Mariotte φέρει στο άνω μέρος του πώμα δια μέσου του οποίου διέρχεται ανοικτός σωλήνας, στο δε κατω μέρος οπή. Καθώς εξέρχεται το νερό από την οπή του σημείου Α, η ελεύθερη επιφάνεια του νερού εντός του δοχείου κατέρχεται, και σύμφωνα με το νόμο του Boyle-Mariotte (το γινόμενο της πίεσης επί τον όγκο μίας ορισμένης ποσότητας αερίου είναι σταθερό) η ελάττωση της πίεσης έχει σαν

συνέπεια την συνεχή είσοδο αέρα διά μέσου του σωλήνα. Έτσι η πίεση στο σημείο B είναι μονίμως ίση με την ατμοσφαιρική και κατ' αυτό τον τρόπο η ταχύτητα εκροής του νερού είναι σταθερή και δίνεται από την εξίσωση του Torricelli, εφ' όσον η ελεύθερη επιφάνεια του νερού βρίσκεται πάνω από το σημείο B:



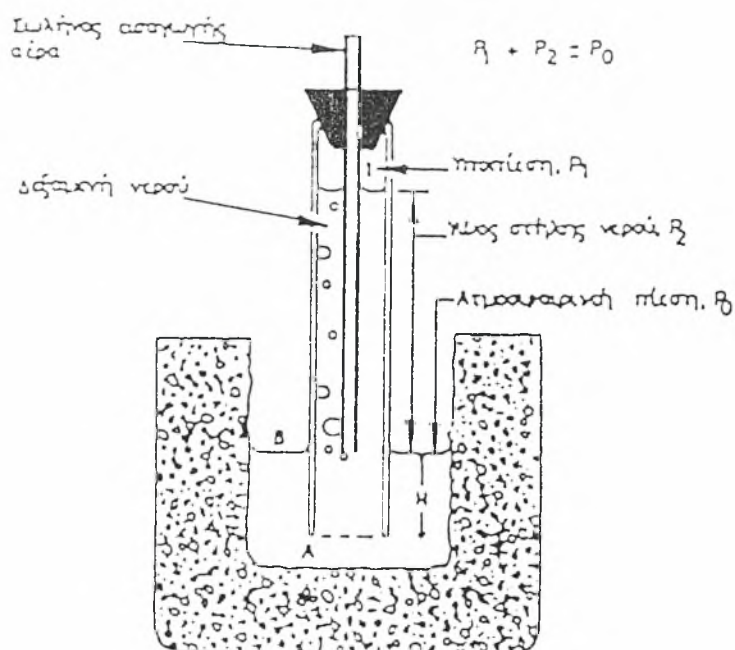
Σχήμα 3.6 Δοχείο Mariotte.

Με βάση την αρχή που λειτουργεί το δοχείο Mariotte, ο σωλήνας εισαγωγής αέρα του υδροπερατομέτρου διατηρεί την πίεση στην επιφάνεια του νερού της δεξαμενής ίση με την ατμοσφαιρική. Έτσι το ύψος του νερού  $H$  στο φρεάτιο, σχήμα (3.5), παραμένει σταθερό αφού και η πίεση στην επιφάνεια του νερού είναι ίση με την ατμοσφαιρική.

Η πτώση στάθμης του νερού στη δεξαμενή του υδροπερατόμετρου δείχνει την παροχή του νερού που διηθείται στο έδαφος. Σε πολύ μικρό χρόνο η ταχύτητα κίνησης του νερού προς το έδαφος σταθεροποιείται. Η μέθοδος δίνει μέτρηση σταθερού ρυθμού διοχέτευσης του νερού στο ακόρεστο έδαφος από το κυλινδρικό φρεάτιο το οποίο διατηρεί σταθερό ύψος φορτίου.

Η σταθερότητα του επιπέδου του νερού στο φρεάτιο εξασφαλίζεται με ρύθμιση του σωλήνα εισαγωγής του αέρα ο οποίος βρίσκεται στο κέντρο του υδροπερατομέτρου. Όταν το νερό διοχετεύεται από το σημείο A στο έδαφος, η ελεύθερη επιφάνεια του νερού στο φρεάτιο πέφτει. Σύμφωνα με το νόμο του Boyle - Mariotte ελαττώνεται η πίεση στο χώρο 1, αλλά ο σωλήνας εισαγωγής αέρα επαναφέρει την ατμοσφαιρική πίεση. Μ' αυτό τον τρόπο κατεβαίνει νερό από την δεξαμενή του υδροπερατομέτρου στο φρεάτιο και εξασφαλίζεται το σταθερό ύψος  $H$  του νερού στο φρεάτιο, οπότε η ταχύτης εκροής αυτού δίνεται από την σχέση :

$$V=(2 \cdot g \cdot H)^{0.5}$$

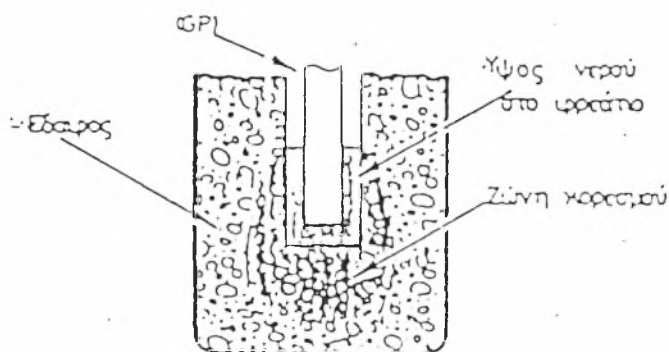


Σχήμα 3.7 Αρχή λειτουργίας της συσκευής Guelph Permeameter (GP)

Καθώς η στάθμη του νερού στο φρεάτιο αρχίζει να πέφτει κάτω από το άκρο του σωλήνα εισαγωγής του αέρα, φυσαλλίδες αέρα αναδύονται από το άκρο του σωλήνα και κατευθύνονται προς την επιφάνεια του νερού. Αυτό έχει σαν συνέπεια την πτώση της στάθμης του νερού στην δεξαμενή και την δημιουργία υποπίεσης στον επάνω χώρο της δεξαμενής του νερού. Το κενό αυτό μπορεί να ανακουφισθεί με την είσοδο αέρα από την κορυφή του σωλήνα εισαγωγής αέρα ο οποίος εν συνεχεία βγαίνει υπό μορφή φυσαλλίδων στην επιφάνεια της δεξαμενής του νερού. Μέρος της υποπίεσης ανακουφίζεται και νερό από την δεξαμενή αναπληρεί το νερό του φρεατίου.

Το μέγεθος της δεξαμενής όπως και η γεωμετρία του σωλήνα εισαγωγής του αέρα σχεδιάστηκαν ώστε να ελέγχουν το μέγεθος των φυσαλλίδων αέρα με σκοπό να εμποδίζουν τις διακυμάνσεις του επιπέδου του νερού στο φρεάτιο.

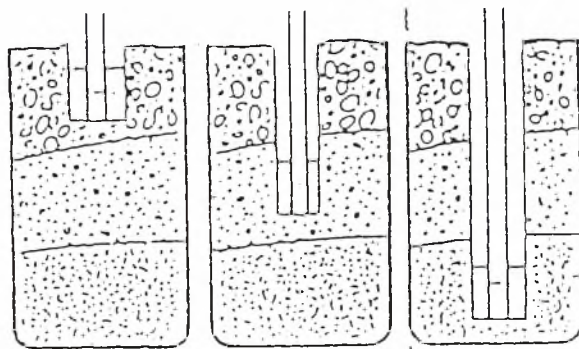
Αφού σταθεροποιηθεί το ύψος του νερού στο φρεάτιο το έδαφος αρχίζει να κορεννύεται υπό μορφή σφαιρικού τομέα όπως φαίνεται στο σχήμα (3.8).



Σχήμα 3.8 Κορεσμένο έδαφος με νερό κατά τη μέτρηση της  $K_s$ .

Στο βάθος που θέλουμε να προσδιορίσουμε την υδραυλική αγωγιμότητα ανοίγουμε με την βοήθεια εδαφοτρύπανης ένα φρεάτιο. Με το υδροπερατόμετρο Guelph έχουμε την δυνατότητα να προσδιορίσουμε την υδραυλική αγωγιμότητα σε κάθε εδαφικό ορίζοντα χωριστά και σε όποιο βάθος χρειάζεται όπως δείχνει το σχήμα (3.9).

Η συσκευή έχει σχεδιασθεί για εδάφη που έχουν μεγάλη υδραυλική αγωγιμότητα (αμμώδη) να χρησιμοποιεί δύο δεξαμενές νερού, ενώ σε μικρής υδραυλικής αγωγιμότητας εδάφη (αργιλλώδη) χρησιμοποιεί μόνο την εσωτερική δεξαμενή.



Σχήμα 3.9 Χρήση του υδροπερατομέτρου Guelph για προσδιορισμό της  $K_s$  σε διάφορα βάθη.

Για τον υπολογισμό της υδραυλικής αγωγιμότητας  $K_s$  χρησιμοποιούνται οι ακόλουθες σχέσεις. ( Reynolds and Elric, 1986)

$$K_s = 0.0041(X)R_2 - 0.054(X)R_1$$

$$K_s = 0.0041(X)R_2 - 0.0237(Y)R_1$$

όπου:

$H_1, H_2$  = Ύψος του νερού στο φρεάτιο κατά την πρώτη και δεύτερη μέτρηση αντίστοιχα. ( $H_1=5$  cm,  $H_2=10$  cm.)

$X=35.39$  η σταθερά της δεξαμενής που χρησιμοποιείται όταν επιλέγουμε και τις δύο δεξαμενές του υδροπερατομέτρου.

$Y=2.14$  η σταθερά της δεξαμενής που χρησιμοποιείται όταν επιλέγουμε μόνο την εσωτερική δεξαμενή.

$R_1$  και  $R_2$  η πτώση της στάθμης του νερού στην εσωτερική και εξωτερική δεξαμενή αντίστοιχα.



Με βάση την κορεσμένη υδραυλική αγωγιμότητα σε εκατοστά του μέτρου ανά ώρα, χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη το παρακάτω σύστημα χαρακτηρισμού της αγωγιμότητας (πίνακας V).

**Πίνακας V ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ**

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΚΟΡΕΣΜΕΝΗ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑ (cm/h)	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΥΔΡΑΥΛΙΚΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ
I	<1,5	ΒΡΑΔΕΙΑ
II	1,5 - 5,0	ΜΕΤΡΙΑ
III	5,0 -15,0	ΤΑΧΕΙΑ
IV	>15,9	ΠΟΛΥ ΤΑΧΕΙΑ

Οι τιμές της υδραυλικής αγωγιμότητας στη θέση παρατήρησης βρέθηκαν για τα 15 cm βάθος 7.33 cm/h ενώ για 45 cm βάθος 3.04 cm/h και χαρακτηρίζεται ως ταχεία και μέτρια αντίστοιχα.

## 7. Μέθοδοι προσδιορισμού της εδαφικής υγρασίας

Για την διαπίστωση του χρόνου και της δόσης άρδευσης είναι απαραίτητο να προσδιορισθεί η υγρασία του εδάφους.

Επειδή η εδαφική υγρασία αυξομειώνεται με το χρόνο λόγω της επίδρασης, ανθρωπογενών και βιολογικών παραγόντων, τα αποτελέσματα προσδιορισμού τη εδαφικής υγρασίας θα αντιπροσωπεύουν την υγρασιακή κατάσταση του εδάφους τη στιγμή της δειγματοληψίας (ή του επί τόπου προσδιορισμού) και μόνο. Η εδαφική υγρασία μπορεί να μετρηθεί με τις παρακάτω μεθόδους:

### α. Σταθμική μέθοδος:

Η κλασική μέθοδος προσδιορισμού της υγρασίας ανά μονάδα βάρους ξηρού εδάφους βασίζεται στη λήψη εδαφικών δειγμάτων και στον προσδιορισμό του υγρού και ξηρού τους βάρους (πυριαντήριο 105<sup>0</sup> για 24 ώρες) από την σχέση:

$$m=(m_u -m_d)/m_d$$

όπου  $m_d$  και  $m_w$  είναι το ξηρό και το υγρό βάρος του εδαφικού δείγματος αντίστοιχα.

Πολλές φορές είναι απαραίτητο η εδαφική υγρασία να εκφραστεί ανά μονάδα όγκου, ιδιαίτερα όταν οι μετρήσεις πρόκειται να συσχετισθούν με στοιχεία βροχόπτωσης ή να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των αναγκών σε αρδευτικό νερό. Ο υπολογισμός της εδαφικής υγρασίας κατά όγκο απαιτεί την γνώση της εδαφικής υγρασίας κατά βάρος και της φαινομενικής πυκνότητας του εδάφους, και δίνετε από την σχέση:

$$\theta = m \gamma_d / \gamma_w$$

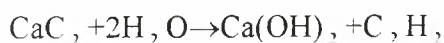
όπου  $\gamma_d$  και  $\gamma_w$  είναι η φαινομενική πυκνότητα του εδάφους και η πυκνότητα του νερού αντίστοιχα.

#### **β. Μέθοδοι που βασίζονται στην μέτρηση της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους.**

Είναι γνωστό ότι το νερό άγει το ηλεκτρικό ρεύμα και η αντίσταση που παρουσιάζει ένα υγρό πορώδες μέσο στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι συνάρτηση της ποσότητας νερού στο πορώδες αυτό μέσο δηλαδή της υγρασία του. Έτσι είναι δυνατό να υπολογιστεί η εδαφική υγρασία κάτω από φυσικές συνθήκες, από τη σχέση μεταξύ αυτής και της ηλεκτρικής αντίστασης του υγρού εδάφους με τη χρήση δύο ηλεκτροδίων και μιας γέφυρας Wheatstone. Η απλή αυτή επινόηση συστηματοποιήθηκε από τον Έλληνα εδαφολόγο Βουγιούκο που τοποθέτησε τα δυο καθορισμένων διαστάσεων ηλεκτρόδια σε σταθερή μεταξύ τους απόσταση μέσα σε γύψινα πλακίδια, με αποτέλεσμα ο χειρισμός και η τοποθέτησή τους στο έδαφος να απλοποιηθούν. Προτού τοποθετηθούν στο έδαφος πρέπει να βαθμολογηθούν κατάλληλα έτσι ώστε να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικής αντίστασης του εδάφους και της εδαφικής υγρασίας.

#### **γ. Χημικές μέθοδοι.**

Πολλές μέθοδοι βασίζονται στη μέτρηση των προϊόντων μιας χημικής αντίδρασης του νερού με μια χημική ένωση. Χημικό μέσο που βρίσκει ευρύτερη χρήση είναι το ανθρακασβέστιο που αντιδρώντας με το εδαφικό νερό δίνει υδροξείδιο του ασβεστίου και ακετυλένιο σύμφωνα με την αντίδραση



Αν η αντίδραση αυτή λάβει χώρα σε ένα κλειστό δοχείο , η αύξηση της πίεσης στο δοχείο οφείλεται στην έκλυση του ακετυλενίου που μπορεί να μετρηθεί με ένα μανόμετρο.

#### **δ. Μέθοδος σκεδασμού νετρονίων**

Η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό υπολογίζεται με μέτρηση της περιεκτικότητάς του σε υδρογόνο αφού το υδρογόνο στο έδαφος βρίσκεται κύρια σαν συστατικό του νερού στη στερεή, υγρή ή αέρια φάση του εδάφους. Νετρόνια που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα, εκπεμπόμενα μέσα στο έδαφος από μια ραδιενεργό πηγή, συγκρούονται με πυρήνες άλλων στοιχείων. Η σύγκρουση με πυρήνες ατόμων υδρογόνου, που έχουν την ίδια περίπου μάζα με εκείνη του νετρονίου έχει σαν αποτέλεσμα την βαθμιαία απώλεια της ενέργειας των ταχέων νετρονίων και την μετατροπή τους σε βραδέα νετρόνια. Ο αριθμός των παραγομένων βραδέων νετρονίων στη μονάδα του χρόνου είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό. Η χρησιμοποιούμενη συσκευή αποτελείται από ένα κυλινδρικό δοχείο που περιέχει μια πηγή ταχέων νετρονίων (μίγμα  $^{241}\text{Am Be}$ ) και ένα ανιχνευτή βραδέων νετρονίων που δεν επηρεάζεται από νετρόνια μεγάλης ταχύτητας. Η μέθοδος αυτή προϋποθέτει μια καμπύλη βαθμολόγησης για κάθε έδαφος.

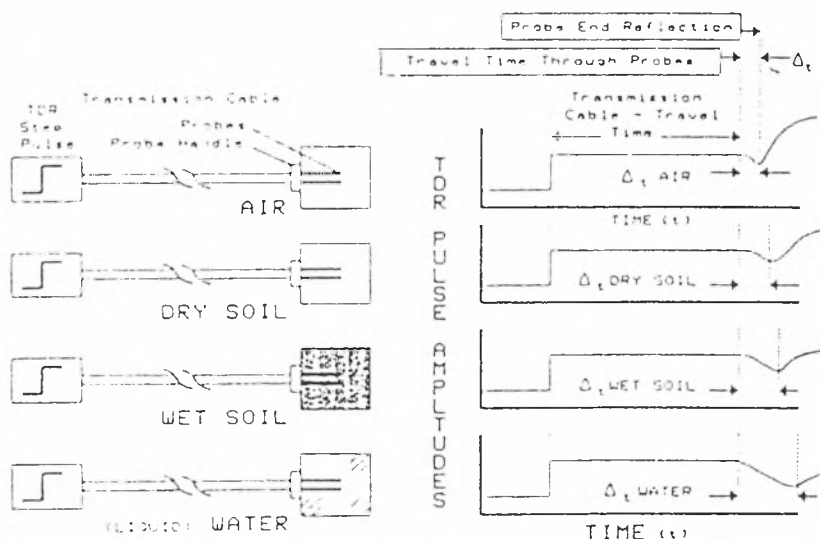
#### **ε. Μέθοδος απόσβεσης ακτίνων γ.**

Η μέθοδος βασίζεται στην απόσβεση (απορρόφηση ) ακτινοβολίας γ όταν μια δέσμη της ακτινοβολίας αυτής αφαιρεί να διέλθει δια μέσου ενός υλικού. Το κλάσμα της ακτινοβολίας γ απορροφάται από το υλικό ,εξαρτάται από το πάχος και την πυκνότητα του υλικού. Η χρησιμοποιούμενη συσκευή αποτελείται από δύο ξεχωριστά τμήματα, το ένα είναι η πηγή των ακτίνων γ και περιέχει  $^{137}\text{Cs}$  και το δεύτερο τμήμα περιέχει ένα ανιχνευτή ακτίνων γ. Τα δύο τμήματα της συσκευής βυθίζονται μέσα σε δύο κατακόρυφους ορειχάλκινους σωλήνες που βρίσκονται βυθισμένοι μέσα στο έδαφος και σε απόσταση ο ένας από τον άλλο. Κατά την λειτουργία ένα μέρος της ακτινοβολίας γ που εκπέμπεται από την πηγή δεν φθάνει στον ανιχνευτή επειδή απορροφάται από την μάζα του εδάφους που βρίσκεται μεταξύ της πηγής και του ανιχνευτή και εξαρτάται αποκλειστικά από την εδαφική υγρασία.

Η χρήση των συσκευών νετρονίων και των ακτίνων γ θα πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή επειδή η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι επικίνδυνη και βλαπτική για την υγεία του ανθρώπου.

### Στ. Μέθοδος TDR μέτρησης της εδαφικής υγρασίας

Στις αρχές της δεκαετίας του 80, η Soilmoisture Equipment Corp. απέκτησε ενδιαφέρον για μια τεχνολογία γνωστή ως TDR, για επί τόπου μέτρηση της κατ' όγκο εδαφικής υγρασίας. Αυτή η νεοεμφανιζόμενη τεχνολογία είχε πολλά θετικά στοιχεία που την έκαναν εμπορικά ενδιαφέρουσα. Ήταν μια μη-πηρυνική (ακτινοβολία), γρήγορη και ανεξάρτητη του εδαφικού τύπου. Αυτή η μεθοδολογία μπορούσε να εφαρμοστεί σε όργανα με χρήση Η/Υ για αυτόματη ανάλυση, είναι εξαιρετικά γρήγορη συγκρινόμενη με μεθόδους προσδιορισμού της υγρασίας ξηρού βάρους, και εκείνη την εποχή, είχε αρχικά φανεί πως ήταν ανεξάρτητη από την αλατότητα και άλλες επιδράσεις στις παρατηρούμενες καμπύλες κυμάτων. Η αρχή λειτουργίας φαινόταν σχετικά απλή. Ένας παλμός τάσης αποστέλλεται στους κυματοδηγούς που είναι εγκατεστημένοι ή εισχωρούν στο έδαφος. Ο παλμός τάσης διανύει τους κυματοδηγούς και αντανακλάται στις άκρες των κυματοδηγών. Ο όγκος του εδαφικού νερού προσδιορίζεται στην συνέχεια από τον χρόνο καθυστέρησης  $\Delta t$ , της επιστροφής του παλμού τάσης, συγκρινόμενο με τον θεωρητικό χρόνο καθυστέρησης σε ένα απόλυτο κενό.



Σχήμα 7.1 Τυπικές καμπύλες μετάβασης του ηλεκτρικού παλμού σε αέρα, υγρό και ξηρό έδαφος.

Τελευταία αναπτύχθηκε μια εντελώς καινούργια έκδοση οργάνου TDR το οποίο ονομάζεται TRASE - από Time Reflectometry Analysis of Signal Energy.

Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός του ηλεκτρισμού περνά μέσα από μια παράλληλη γραμμή μεταβίβασης εξαρτάται από την διηλεκτρική σταθερά ( $K$ ) του υλικού που είναι σε επαφή και περικλείει τη γραμμή μεταβίβασης. Όσο μεγαλύτερη η διηλεκτρική σταθερά τόσο χαμηλότερη είναι η ταχύτητα.

Ονομάζουμε διηλεκτρική σταθερά ή επαγωγική ικανότητα ενός μονωτικού υλικού τον λόγο  $K$  της χωρητικότητας ενός πυκνωτού, οι οπλισμοί του οποίου χωρίζονται από το μονωτικό υλικό, προς την χωρητικότητα πυκνωτού των ίδιων διαστάσεων, του οποίου οι οπλισμοί χωρίζονται από τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Το έδαφος γενικά αποτελείται από αέρα, ανόργανα και οργανικά συστατικά και νερό.

Η διηλεκτρική σταθερά ( $K$ ) για αυτά τα υλικά είναι:

Αέρας	1
Ανόργανα συστατικά	2 - 4
Νερό	80

Εξαιτίας της μεγάλης διαφοράς στην διηλεκτρική σταθερά του νερού από τα άλλα συστατικά του εδάφους, η ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει ο παλμός του μικροκύματος του ηλεκτρισμού στην παράλληλη γραμμή μεταβίβασης τοποθετημένη μέσα στο έδαφος είναι κατά πολύ εξαρτημένη από το νερό που περιέχεται στο έδαφος.

Όταν ένας παλμός μικροκύματος περνά από μια γραμμή μεταβίβασης συμπεριφέρεται κατά κάποιο τρόπο σαν μια δέσμη φωτός. Ασυνέχειες στη γραμμή μεταβίβασης και το περικλειόμενο υλικό προκαλεί μερική από την ενέργεια του μικροκύματος να ανακλάται πίσω δια μέσου της γραμμής. Όταν ο παλμός φτάσει στο τέλος της γραμμής μεταβίβασης, κανονικά όλη η υπολειπόμενη ενέργεια μέσα στον παλμό ανακλάται πίσω διαμέσου της γραμμής, παρόμοια όπως μια δέσμη φωτός περνάει μέσα από ένα σωλήνα και ανακλάται πίσω από έναν καθρέπτη που είναι στο τέλος του σωλήνα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά κάνουν δυνατή, με αξιόπιστα ηλεκτρονικά μέσα τη μέτρηση του απαιτούμενου χρόνου για ένα παλμό μικροκύματος να περάσει από ένα γνωστό μήκος της γραμμής μεταβίβασης αναφερόμενο σε ένα κυματοδηγό (Waveguide) τοποθετημένο στο έδαφος.



Η φαινομενική διηλεκτρική σταθερά ( $K_a$ ) του εδάφους μπορεί να προσδιορισθεί από τον τύπο :

$$K_a = \left(\frac{L}{L}\right)^2$$

όπου:

L είναι το μήκος των κυματοδηγών σε εκατοστά

t είναι ο χρόνος μεταφοράς σε nanoseconds και

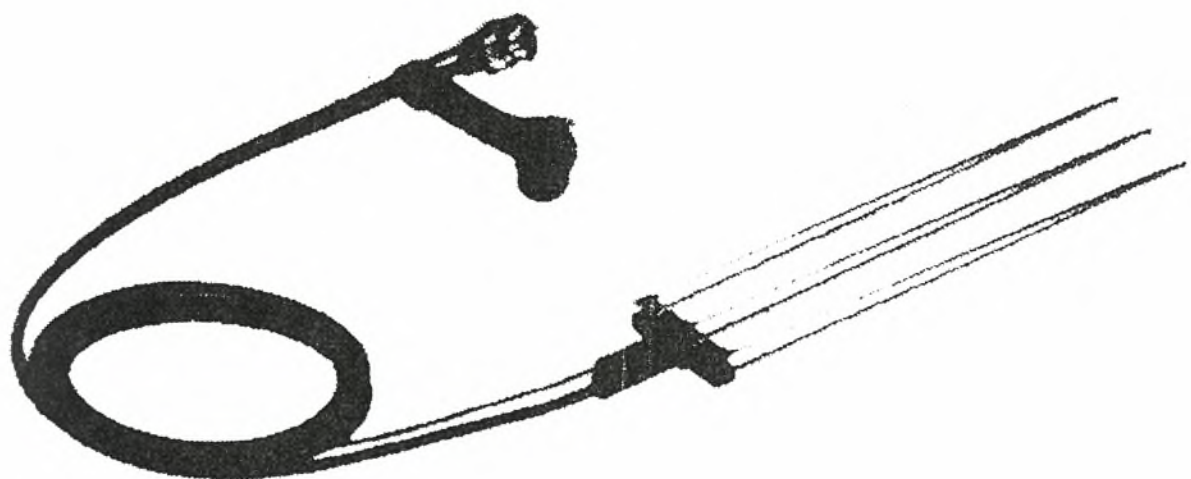
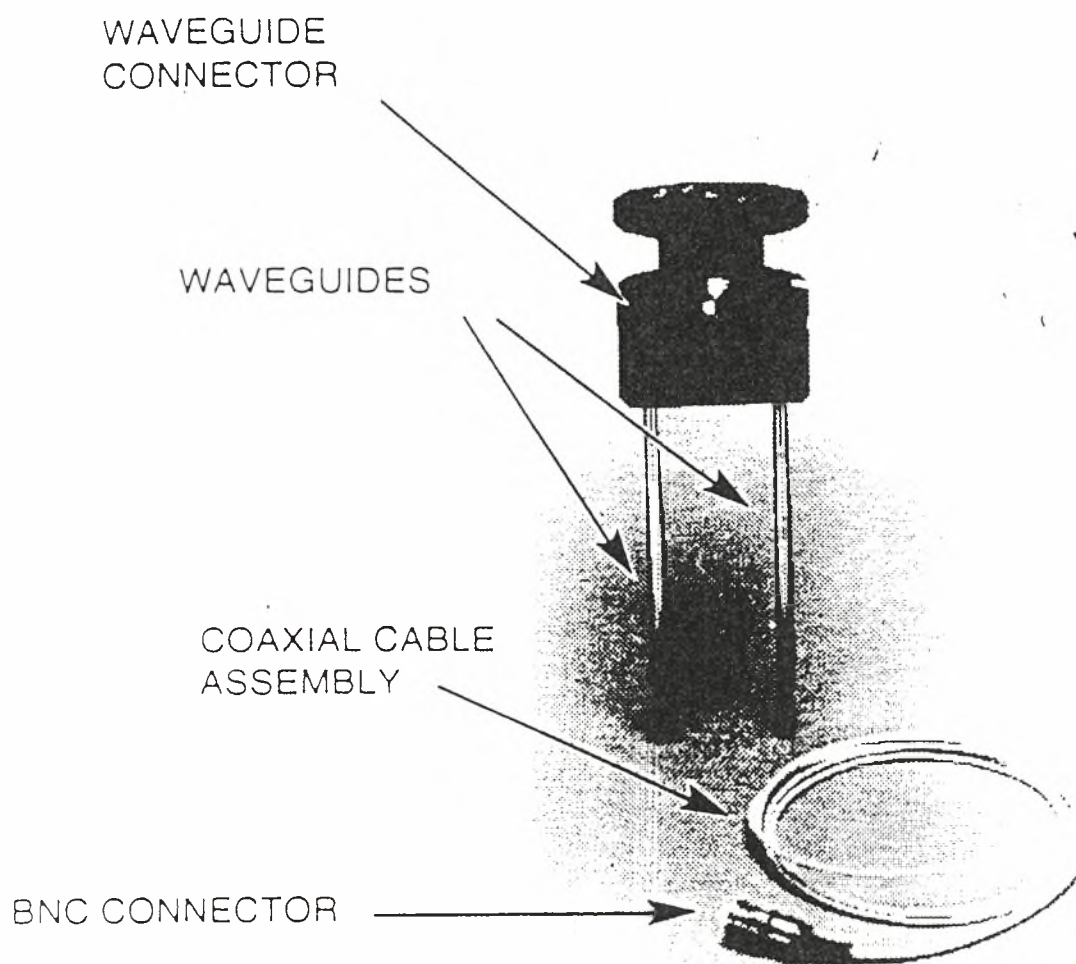
C είναι η ταχύτητα του φωτός σε cm/nsec

Ο χρόνος μεταφοράς ορίζεται ως ο χρόνος που απαιτείται ώστε ένας παλμός να ταξιδέψει προς μια κατεύθυνση από την αρχή του κυματοδηγού ως το τέλος αυτού.

Εάν το έδαφος είναι απόλυτα ξηρό, η  $K_a$  θα είναι από 2 - 4 . Εάν 25% της χωρητικότητας του εδάφους είναι νερό, η  $K_a$  θα είναι περίπου 11 - 12. Για καλλιεργούμενα εδάφη η τιμή  $K_a$  της φαινομενικής διηλεκτρικής σταθεράς, εξαρτάται κυρίως από την περιεκτικότητα σε νερό του εδάφους και είναι ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους.

Η σχέση της τιμής της  $K_a$  με την επί τοις εκατό κατ' όγκο περιεκτικότητα σε νερό καθιερώθηκε μετά από προσεκτικές μετρήσεις της  $K_a$  σε κελιά δοκιμών προετοιμασμένα με ακριβή γνώση της χωρητικότητας του νερού στο έδαφος. Αυτή η σχέση χρησιμοποιείται κατόπιν σε αυτόματα μετατρεπόμενες μετρήσεις αγρού της  $K_a$  σε κατ' όγκο περιεκτικότητα του εδαφικού νερού. Η συσκευή αυτή χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στον πειραματικό αγρό όπως δείχνουν η φωτογραφία και τα σχήματα που ακολουθούν. Κατά την μέτρηση της εδαφικής υγρασίας στον αγρό χρησιμοποιήσαμε αισθητήρες των 15, 40 και 60 cm.





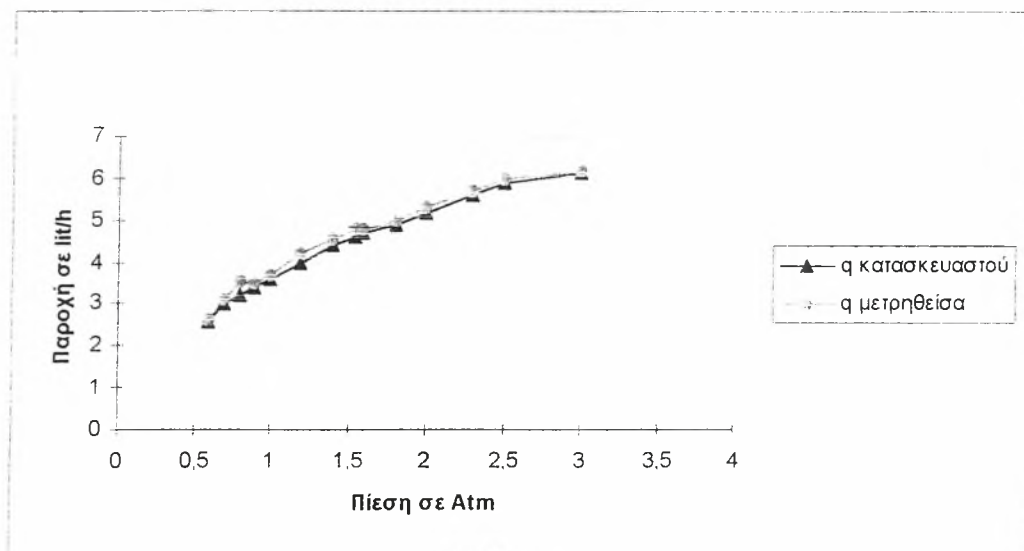
Σχήμα 7.1 Αισθητήρες TDR 20 και 60 cm

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΠΕΙΡΑΜΑ

#### 4.1. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Εγκαταστάθηκε αρδευτικό δίκτυο που αποτελείτο από τον κύριο αγωγό μεταφοράς με φορητούς χαλυβδοσωλήνες  $\Phi$  108, τους δευτερεύοντες αγωγούς από PE  $\Phi$  40 στις 6 Atm. Και τους σταλακτηφόρους σωλήνες από PE  $\Phi$  20 με ενσωματωμένους απλούς σταλακτήρες Eurodrip GR. Οι σταλακτήρες αυτοί διαθέτουν βαθύ λαβύρινθο μαιανδρικής διαδρομής, ώστε να εξασφαλίζουν την τυρβώδη ροή του νερού και την ελάχιστη ευαισθησία στις εμφράξεις. Η παροχή εκάστου ήταν 3.8 l/h σε πίεση λειτουργίας 1,4 Atm. Από μετρήσεις της παροχής των σταλακτήρων διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της, ήσαν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια όπως δείχνει το σχήμα 4.1. Η άντληση του νερού ( $20 \text{ m}^3/\text{h}$ ) γινόταν με πετρελαιοκινητήρα 10 HP από βάθος 7 m. Στην κεφαλή του πειραματικού αγρού υπήρχε φίλτρο σίτας 120-150 mesh, δυνατότητας  $30 \text{ m}^3/\text{h}$  με μανόμετρα στην είσοδο και την έξοδο. Σε κάθε πειραματικό τεμάχιο υπήρχαν ρυθμιστές πίεσης 1.4 Atm.

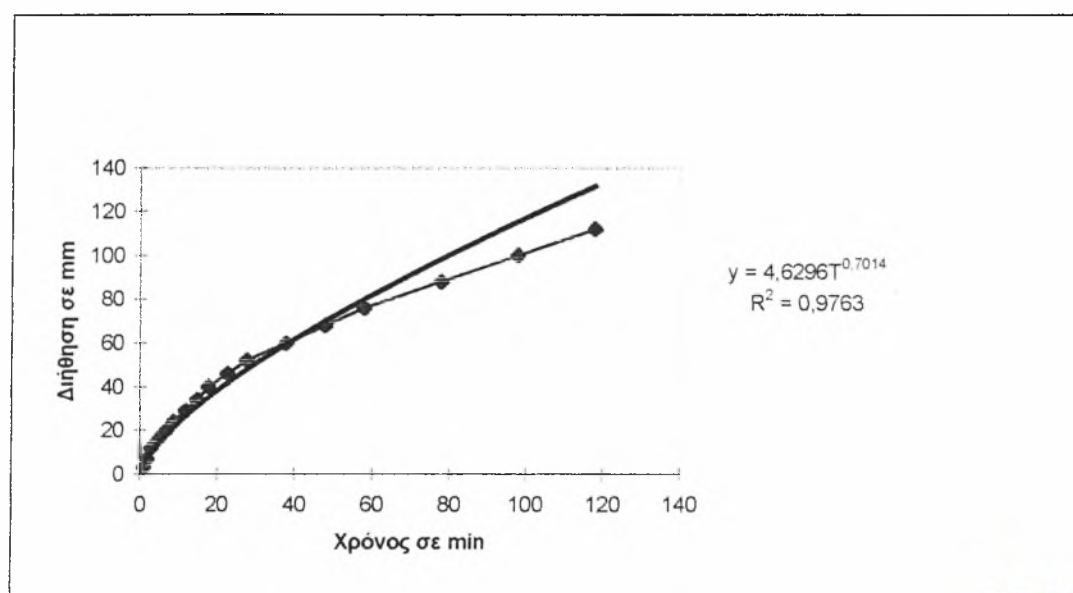


Σχήμα 4.1. Καμπύλες πίεσεων-παροχών σταλακτήρων GR

Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με τη μέθοδο TDR (Time Domain Reflectometry) η οποία είναι μία μη ραδιενεργός μέθοδος γρήγορη και ανεξάρτητη από τον τύπο του εδάφους, εκτός ακραίων περιπτώσεων. Η αρχή λειτουργίας της βασίζεται στη μέτρηση του χρόνου που απαιτείται ώστε ένας

ηλεκτρομαγνητικός παλμός να διασχίσει ένα κυματοδηγό ο οποίος εισχωρεί στο έδαφος. Η ταχύτητα με την οποία ο παλμός κινείται μέσα στον κυματοδηγό σχετίζεται με την διηλεκτρική σταθερά του μέσου με το οποίο είναι σε επαφή. Σε καλλιεργούμενα εδάφη, η κατ' όγκο περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, είναι συνάρτηση της διηλεκτρικής σταθεράς του εδάφους και μπορεί να προσδιορισθεί δια μέσου αυτής.

Η μέτρηση της κατακόρυφης διήθησης του εδάφους έγινε με το διηθητόμετρο εφαρμογής των αρδεύσεων. Η τελική διηθητικότητα βρέθηκε ίση με 3.6 cm/h.



ΣΧΗΜΑ 4.2. Σχέση αθροιστικής διήθησης

Τα πειραματικά σημεία προσεγγίστηκαν από την εξίσωση του σχήματος 4.2, από την οποία προκύπτει η σχέση της στιγμιαίας διηθητικότητας.

$$i = 3.2474t^{-0.299} \text{ mm/min}$$

Η υδραυλική αγωγιμότητα του αγρού μετρήθηκε με Guelph Permeameter, του οποίου η λειτουργία στηρίζεται στην αρχή της φιάλης Mariotte, εξασφαλίζοντας έτσι σταθερή παροχή νερού στο έδαφος.



## 4.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

Το πείραμα εγκαταστάθηκε σε αγρό της περιοχής Λάρισας. Μελετήθηκαν οι διάφοροι συνδυασμοί διατάξεων συστήματος άρδευσης με σταγόνες, παρακολούθηθηκε ο όγκος διαβροχής του εδάφους και αξιολογήθηκαν οι συνέπειες στη παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων. Συγκεκριμένα μετρήθηκε το βάρος, η περιεκτικότητα σε ζάχαρη και η παραγωγή ακατέργαστης και κρυσταλλικής ζάχαρης. Κάθε συνδυασμός (επέμβαση) εφάρμοσε ίση ποσότητα νερού, σε διαφορετικούς χρόνους λειτουργίας του συστήματος.

Το πειραματικό σχέδιο ήταν τροποποιημένο παραγοντικό 2X2 με 6 επαναλήψεις. Τα επίπεδα του πρώτου παράγοντα ήταν η ισαποχή μεταξύ των σταλακτηφόρων σωλήνων και τα επίπεδα του δεύτερου παράγοντα ήταν η επί του σταλακτηφόρου σωλήνα αποστάσεις των σταλακτήρων (Σχ.4.3, Πιν. VI).

ΠΙΝΑΚΑΣ VI Διάταξη επεμβάσεων

Διάταξη άρδευσης	Απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων St (m)	Απόσταση μεταξύ σταλακτήρων Sr (m)	Σταλακτήρες ανά στρ.	Ωριαίο ύψος νερού Idh* mm/ώρα
WD <sub>1-50</sub> =Α	1	0,50	2.000	7,6
WD <sub>1-75</sub> =Β	1	0,75	1.333	5,07
WD <sub>1,5-50</sub> =Γ	1,5	0,50	1.333	5,07
WD <sub>1,5-75</sub> =Δ	1,5	0,75	889	3,38

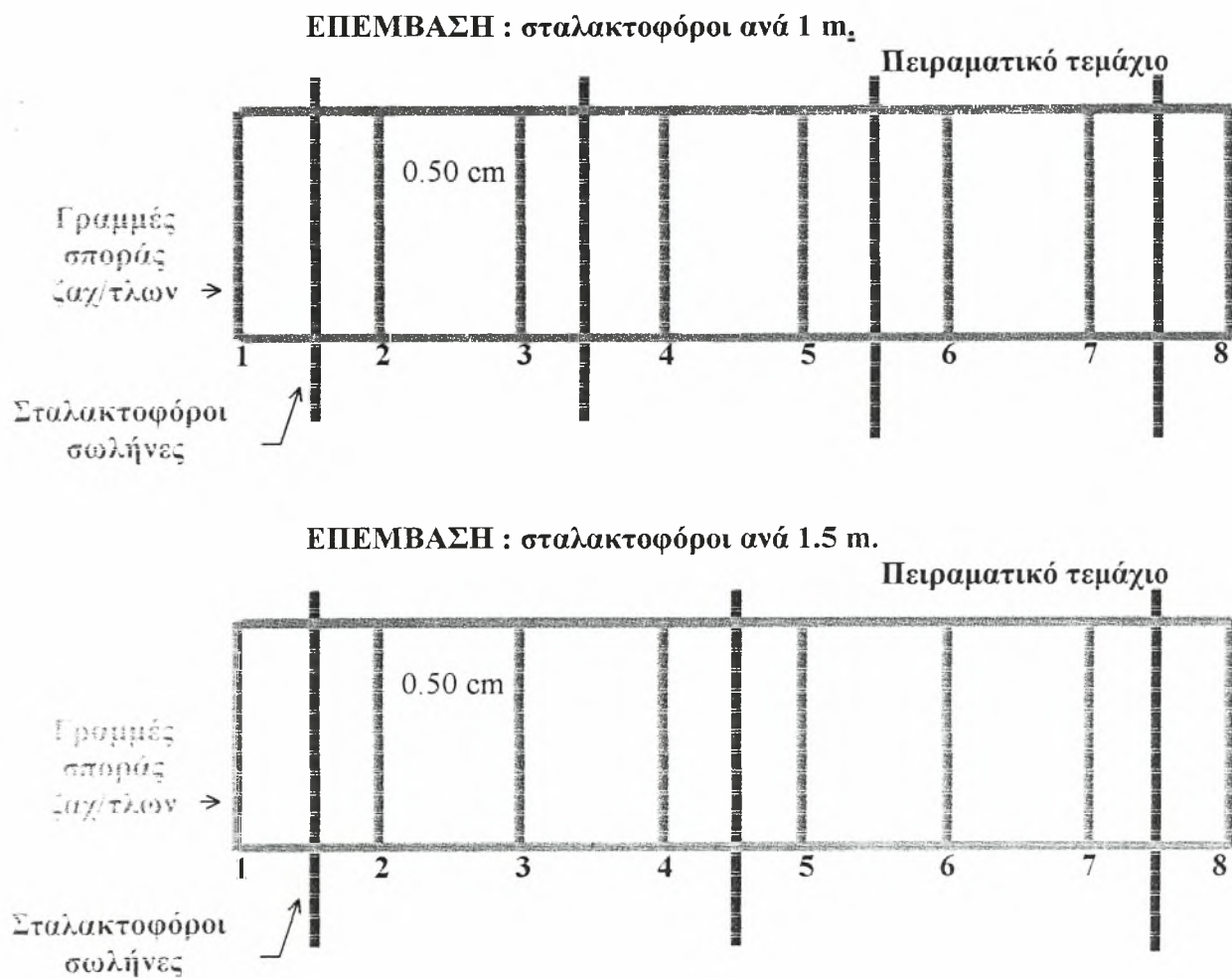
$$* Idh = \frac{q}{St \times Sr} \quad q = \text{παροχή σταλακτήρων lit/ώρα, } St \times Sr = \text{διάταξη σταλακτήρων}$$

Κατά την διάρκεια της αρδευτικής περιόδου έγιναν 13 αρδεύσεις και η καλλιέργεια συνολικά προσέλαβε 558 mm νερού.

Έγιναν δύο σειρές μετρήσεων της υγρασίας εδάφους στις 31/7/97 και στις 7/9/97 που αντιστοιχούν στην πρώτη ημέρα μετά από άρδευση. Το βάθος των μετρήσεων ήταν 16.5 και 20 cm. Οι μετρήσεις έγιναν στη θέση των σταλακτηφόρων σωλήνων, επί των γραμμών των ζαχαροτεύτλων και ανάμεσα από αυτές (Σχ. 4. 3).



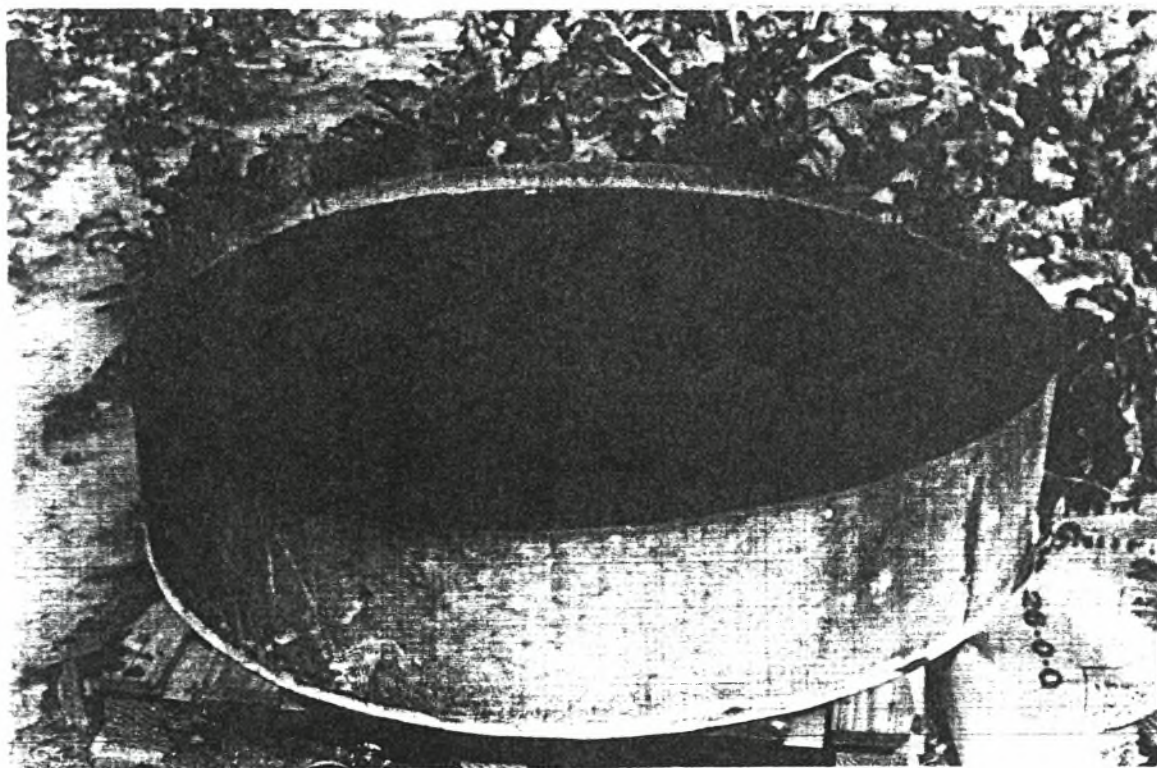
**ΔΙΑΤΑΞΗ ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΑΝΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ  
ΕΠΕΜΒΑΣΗ  
(Λάρισα 1997)**



ΣΧΗΜΑ 4. 3. Διάταξη σταλακτηφόρων σωλήνων ανά πειραματική επέμβαση

Κάθε πειραματικό τεμάχιο (π.τ) είχε πλάτος 8 m (κάθετα στις γραμμές σποράς, οι οποίες ήταν ανά μισό μέτρο) και μήκος 10 m (παράλληλα στις γραμμές σποράς) Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με τη βοήθεια εξατμισιμέτρου τύπου A (Evaporation pan type A), με βάση την αθροιστική εξατμισοδιαπνοή από την προηγούμενη άρδευση.

Οι αρδεύσεις επαναλαμβάνονταν κάθε 3-4 ημέρες, για να διατηρείται συνεχώς η υγρασία του εδάφους κοντά στην τιμή της Υδατοϊκανότητας.



Φωτογραφία 7.2. Εξατμισίμετρο στον αγρό

ΑΝΑΛΥΣΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΕΛΑΦΩΝ

## ΠΙΝΑΚΑΣ 8

57

### 4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Από τις αναλύσεις του εδάφους προέκυψε ότι το έδαφος ήταν αμμοαργίλλοπηλώδες με συμπεριφορά βαρέως λόγω της αλατότητας. Από την ανάλυση της ποιότητας του νερού προέκυψε ότι υπάρχει αλατότητα, ότι δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εδάφη με κακή στράγγιση και ανεπαρκή έκπλυση και ότι χρησιμοποιείται μόνο σε φυτά ανθεκτικά σε άλατα. Η θέση του ζαχαροτεύτλου από πλευράς ανθεκτικότητας στα άλατα είναι τρίτη μετά το βαμβάκι και το κριθάρι. Επομένως η καλλιέργεια δεν θίγεται από την άρδευση, σε αντίθεση με το έδαφος το οποίο άρχισε να υποβαθμίζεται λόγω της μακροχρόνιας χρήσης του αρδευτικού νερού.

Η υδραυλική αγωγιμότητα του χωραφιού βρέθηκε ίση με  $2 \cdot 10^{-3}$  cm/sec σε βάθος 15 cm του εδάφους και  $8,5 \cdot 10^{-4}$  cm/sec σε βάθος 45 cm. Με βάση τα δεδομένα του αγρού στις διατάξεις Α και Β (σταλακτηφόροι ανά δύο σειρές φυτών) η κατανομή της υγρασίας ήταν πρακτικά η ίδια (Σχ. 4.4 και 4.5). Ελάχιστη υγρασία, κάτω από το σημείο μάρανσης, εμφανίζεται μεταξύ των γραμμών φυτών όπου δεν υπάρχουν σταλακτηφόροι. Η υγρασία έδειξε να αυξάνεται όσο πλησιάζουμε προς τις σειρές φυτών κοντά στους σταλακτήρες (σημεία 2, 4, 7, 9, 12, 14) και προς τους σταλακτηφόρους σωλήνες (1, 5, 6, 10, 11, 15).

Οι διατάξεις Γ και Δ (σταλακτηφόροι ανά τρεις σειρές φυτών), παρουσιάζουν την ίδια κατανομή υγρασίας (Σχ. 4.4 και 4.5). Οι χαμηλότερες τιμές υγρασίας εμφανίζονταν στη μεσαία σειρά ζαχαροτεύτλων (σημεία 4, 11 και 18 και ανάμεσα στις σειρές φυτών (σημεία 3, 5, 10, 12, 17, 19). Η υγρασία ήταν σε ψηλότερα επίπεδα στις σειρές κοντά στους σταλακτήρες (σημεία 2, 6, 9, 13, 16, 20) και έφθανε στην Υδατοϊκανότητα επί των σταλακτιήρων.

Γενικά οι τιμές των μετρήσεων της 31/7/97 ήταν ψηλότερες από τις αντίστοιχες της 7/9/97, διότι οι πρώτες ελήφθησαν την επόμενη της άρδευσης, ενώ οι δεύτερες, δύο ημέρες μετά την άρδευση.

Σύμφωνα με τα δεδομένα (Πιν.7) οι συνολικές επιδράσεις τόσο στην απόσταση μεταξύ σταλακτηφόρων σωλήνων όσο και μεταξύ σταλακτιήρων στον ίδιο σωλήνα, δεν επέδρασαν σημαντικά στην παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων. Προέκυψε μόνο ένδειξη πιθανής επίδρασης στο βάρος ριζών. Συγκεκριμένα όταν οι σταλακτηφόροι σωλήνες ήταν σε απόσταση 1 m, έδειξαν μία

υπεροχή σε βάρος των ριζών 6.3% σε σχέση με την απόσταση 1.5 m (σημαντικό  $P=0.08$ )

Περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων (Πιν. 8) έδειξε σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ των αποστάσεων των σταλακτήρων επί του σταλακτηφόρου στο 1.5 m. Επιμέρους ανάλυση της αλληλεπίδρασης έδειξε ότι για όλα τα παραγωγικά χαρακτηριστικά (βάρος, περιεκτικότητα σε ζάχαρη και απόδοση σε ζάχαρη, ακατέργαστη και κρυσταλλική η απόδοση ήταν μειωμένη στις γραμμές που δεν εφάπτονταν με σταλακτηφόρο στην απόσταση 1.5 m. Τα δεδομένα αυτά είναι μία πρώτη ένδειξη της σημασίας που έχει η διάταξη της στάγδην άρδευσης.



**ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΛΑΚΤΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ**

Πειραματικός αγρός : Εργ. Λάρισας  
 Τοποθεσία : Γλαύκη  
 Κωδικός αριθμός : 97214 Dr2  
 Πειραματικό σχέδιο : Factorial 2x2x6

Ημερομηνία σποράς : 24/03/97  
 Ημερομηνία σ/δής : 19/09/97  
 Τύπος εδάφους: SCL  
 Αρδευτικό νερό : 430 mm

**Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων**

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος °S	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
					Ακατέρ- γαστη	Κρυσταλ- λική

**I. Παραγοντική επίδραση**

**Απόσταση μεταξύ  
σταλακτοφόρων σωλήνων**

1.0 m	10640	-	6160	13.11	808	519
1.5 m	10521	-	5791	13.22	765	491
Σημαντικότητα F-test $\alpha = .05$ ΕΣΔ (.05)	0.491 ΜΣ -	-	0.075 (+) -	0.427 ΜΣ -	0.130 ΜΣ -	0.278 ΜΣ -

**Απόσταση μεταξύ  
σταλακτών στον ίδιο σωλήνα**

50 cm	10521	-	5893	13.25	780	507
75 cm	10640	-	6059	13.07	792	504
Σημαντικότητα F-test $\alpha = .05$ ΕΣΔ (.05)	0.491 ΜΣ -		0.401 ΜΣ -	0.190 ΜΣ -	0.658 ΜΣ -	0.001 ΜΣ -

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΛΑΚΤΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ (Α)**

**Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων**

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος °S	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
					Ακατέρ- γαστη	Κρυσταλ- λική

**I. Παραγοντική επίδραση**

Διάταξη αρδευτικού δικτύου

1.0 m	x	50 cm	10508	-	6119	13.05	798	513
	x	75 cm	10771	-	6202	13.18	817	524
1.5 m	x	50 cm	10533	-	5666	13.40	763	500
	x	75 cm	10508	-	5917	12.96	767	483
Σημαντικότητα F-test			0.640		0.248	0.138	0.442	0.665
$\alpha = .05$			ΜΣ		ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΛ (.05)			-		-	-	-	-

Γραμμές σποράς Ζαχαροτεύτλων\* (1.5 m)

3 <sup>η</sup> + 6 <sup>η</sup> γραμμές	10375	-	4822	12.96	623	442
4 <sup>η</sup> + 5 <sup>η</sup> γραμμές	10667	-	6762	13.41	906	541
Σημαντικότητα F-test	0.314		0.000	0.000	0.000	0.083
$\alpha = .05$	ΜΣ		**	**	**	(+)
ΕΣΛ (.05)	-		236	0.27	32	-

**II Αλληλεπίδραση παραγόντων**

1.5x50, 3 <sup>η</sup> + 6 <sup>η</sup> γραμ.	10525	-	4762	13.04	620	440
x50, 4 <sup>η</sup> +5 <sup>η</sup> γραμ.	10542	-	6571	13.76	905	560
x75, 3 <sup>η</sup> +6 <sup>η</sup> γραμ.	10225	-	4882	12.87	626	444
x75, 4 <sup>η</sup> +5 <sup>η</sup> γραμ.	10792	-	6952	13.05	908	522
Γ.Μ.Ο. πειράματος	10580		5976	13.15	786	505
Σημαντικότητα F-test	0.610		0.000	0.259	0.000	0.057
$\alpha = .05$	ΜΣ		**	ΜΣ	**	(+)
ΕΣΛ (.05)	-		472	-	65	-
CV (%)	5.5		6.6	3.4	6.8	18.6

- \*3<sup>η</sup> + 6<sup>η</sup> γραμμές : είναι γραμμές ζαχαροτεύτλων που δεν εφάπτονται με σταλακτοφόρο σωλήνα άρδευσης όταν η απόσταση μεταξύ των σωλήνων είναι 1.5 m.
- \*4<sup>η</sup> + 5<sup>η</sup> γραμμές : είναι οι γραμμές ζαχαροτεύτλων που εφάπτονται με σταλακτοφόρο σωλήνα άρδευσης και στις δύο διατάξεις σωλήνων (απόσταση μεταξύ των 1.0 ή 1.5 m).

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΛΑΚΤΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ**

Πειραματικός αγρός : Εργ. Ξάνθης  
 Τοποθεσία : Αγρόκτημα Ε.Β.Ζ.  
 Κωδικός αριθμός : 97514 Dr2  
 Πειραματικό σχέδιο : Factorial 2x2x6

Ημερομηνία σποράς : 10/04/97  
 Ημερομηνία σ/δής : 16/09/97  
 Τύπος εδάφους: SL  
 Αρδευτικό νερό : 350 mm

**Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων**

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος °S	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
					Ακατέρ- γαστη	Κρυσταλ- λική

**I. Παραγοντική επίδραση**

Απόσταση μεταξύ  
σταλακτοφόρων σωλήνων

1.0 m	8875	-	7877	14.58	1147	1000
1.5 m	8816	-	7074	14.48	1024	888
Σημαντικότητα F-test	0.701		0.002	0.576	0.000	0.000
$\alpha = .05$	ΜΣ		**	ΜΣ	**	**
ΕΣΔ (.05)	-		455	-	59	48

Απόσταση μεταξύ  
σταλακτιών στον ίδιο σωλήνα

50 cm	8869	-	7587	14.52	1100	958
80 cm	8821	-	7364	14.54	1071	930
Σημαντικότητα F-test	0.759		0.313	0.874	0.317	0.225
$\alpha = .05$	ΜΣ		ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ	ΜΣ
ΕΣΔ (.05)	-		-	-	-	-

**ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΡΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ  
ΣΤΑΛΑΚΤΟΦΟΡΩΝ ΣΩΛΗΝΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΛΑΚΤΩΝ  
ΣΤΗΝ ΑΡΔΕΥΣΗ ΜΕ ΣΤΑΓΟΝΕΣ (Ξ)**

**Παραγωγικά αποτελέσματα επεμβάσεων**

ΕΠΕΜΒΑΣΗ	Αριθμός ριζών / στρ.	Βάρος Φύλλων Κορυφών	Βάρος ριζών χλγ./στρ.	Ζαχαρικός τίτλος °S	Ζάχαρη, χλγ./στρ.	
					Ακατέρ- γαστη	Κρυσταλ- λική

**I. Παραγοντική επίδραση**

Διάταξη ορθογωνικού Δικτύου

1,0 m	χ	50 cm	8881	-	8131	14,58	1185	1035
	χ	80 cm	8869	-	7623	14,57	1110	966
1,5 m	χ	50 cm	8857	-	7043	14,42	1015	882
	χ	80cm	8774	-	7105	14,49	1033	894

Μέση τιμή			9025	-	7454	14,57	1083	941
-----------	--	--	------	---	------	-------	------	-----

Σημαντικότητα			0,957		0,008	0,881	0,002	0,001
F-test								
$\alpha = .05$			ΜΣ		**	ΜΣ	**	**
ΕΣΛ (.05)			-		644	-	84	68

Γραμμές σποράς Ζαχαροτεύλων (1,5 m)

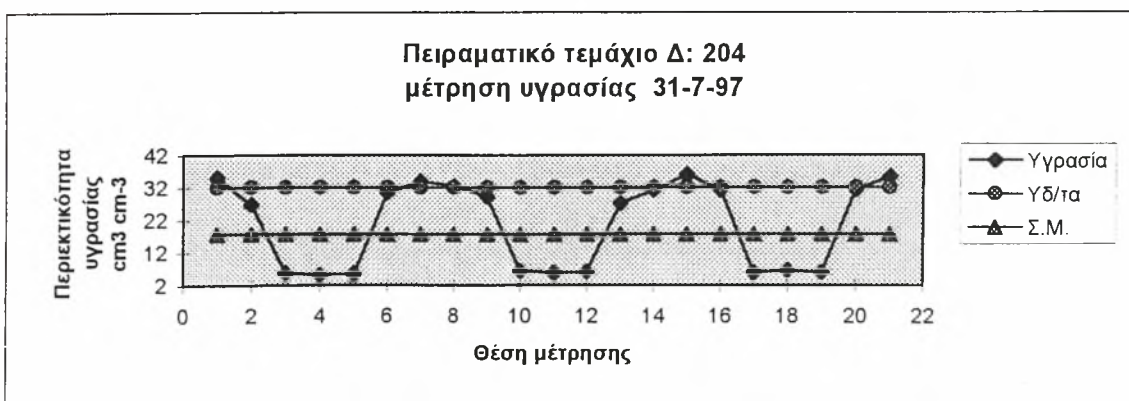
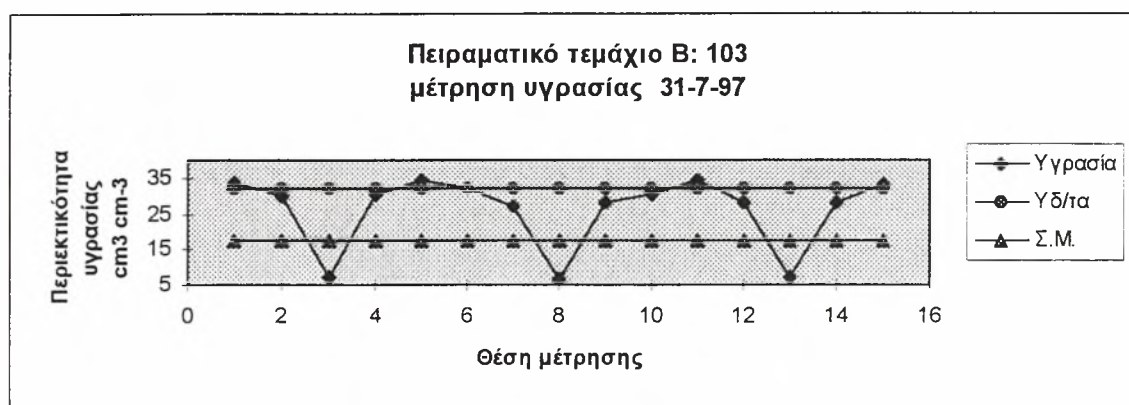
3 <sup>η</sup> + 6 <sup>η</sup> γραμμές			8964	-	6288	14,32	902	782
4 <sup>η</sup> + 5 <sup>η</sup> γραμμές			8667	-	7860	14,59	1146	994

Σημαντικότητα								
F-test			0,104		0,000	0,099	0,000	0,000
$\alpha = .05$			ΜΣ		**	(+)	**	**
ΕΣΛ (.05)			-		382	-	61	51

**II Αλληλεπίδραση παραγόντων**

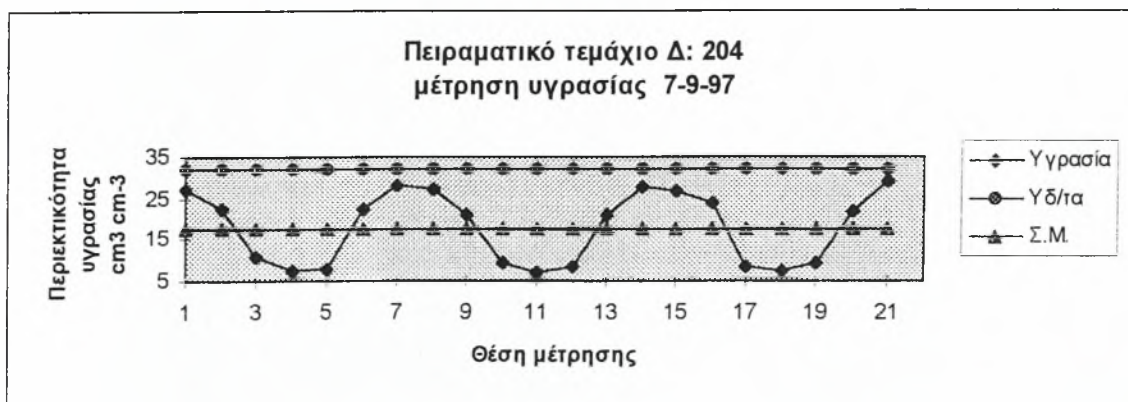
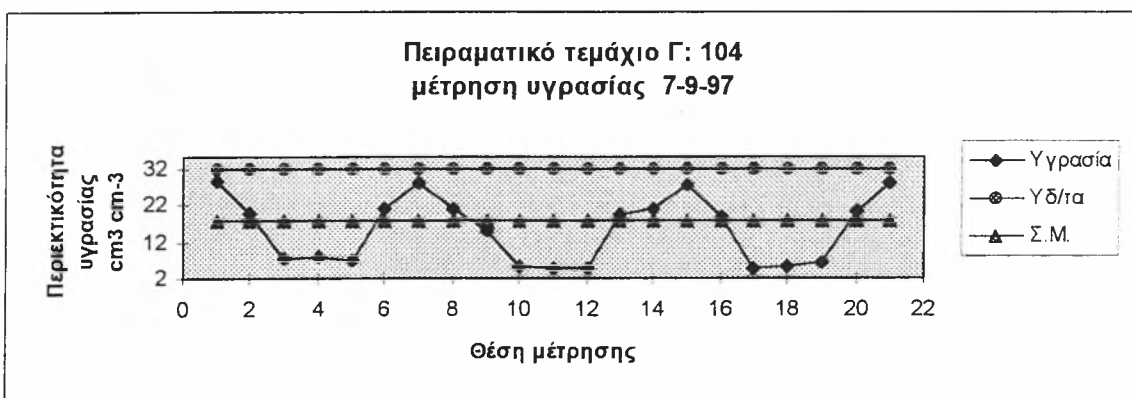
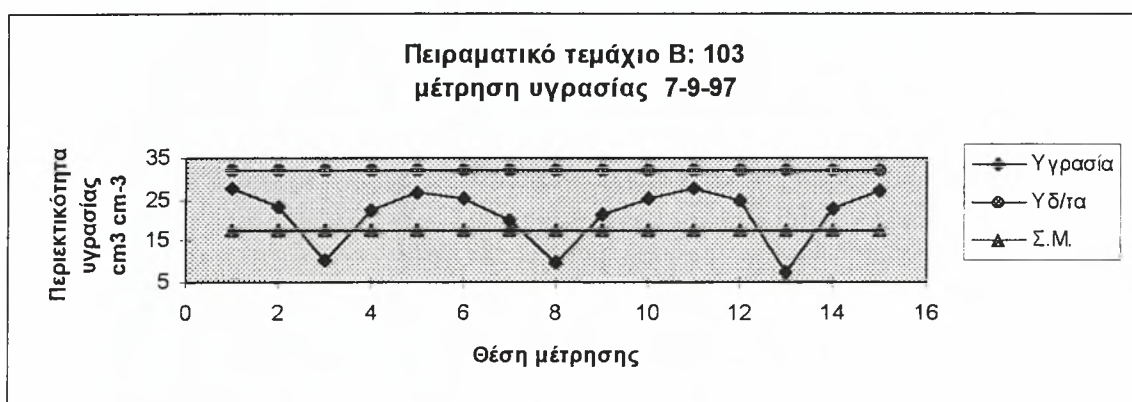
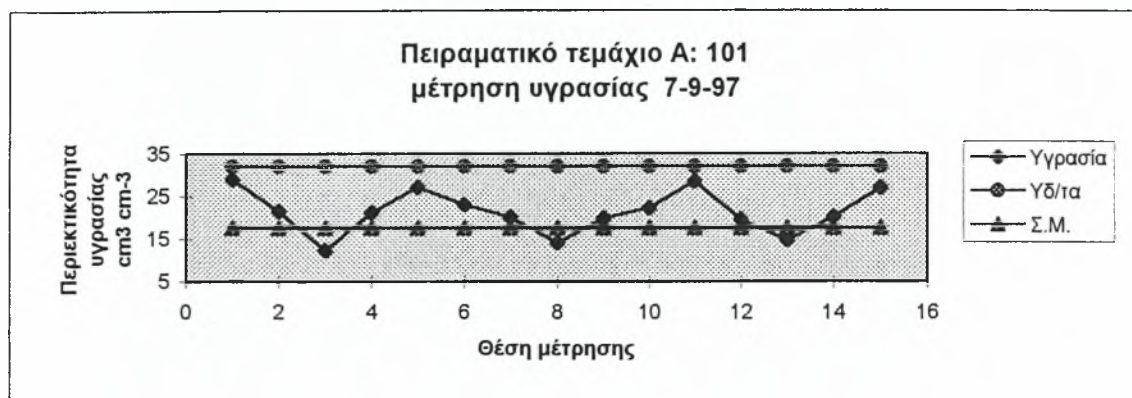
1,5x50, 3 <sup>η</sup> + 6 <sup>η</sup> γραμ.			8810	-	6317	14,28	902	783
χ50, 4 <sup>η</sup> +5 <sup>η</sup> γραμ.			8905	-	7769	14,56	1128	981
χ80, 3 <sup>η</sup> +6 <sup>η</sup> γραμ.			9119	-	6260	14,37	902	781
χ80, 4 <sup>η</sup> +5 <sup>η</sup> γραμ.			8429	-	7950	14,62	1164	1006
Μέση τιμή			8621	-	6888	14,40	987	852
Μέση τιμή			9428	-	8021	14,74	1178	1031

Γ.Μ.Ο. πειράματος			8845		7475	14,52	1086	944
Σημαντικότητα								
F-test			0,487		0,003	0,842	0,005	0,004
$\alpha = .05$			ΜΣ		**	ΜΣ	**	**
ΕΣΛ (.05)			-		765	-	121	102
CV (%)			7,1		8,5	2,7	9,3	9,0



ΣΧΗΜΑ 4 Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, δόση άρδευσης 30.4 mm, άρδευση 30-7-97





ΣΧΗΜΑ.4.5 Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, δόση άρδευσης 40.5 mm, άρδευση 5-9-97

## 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα διατριβή έγινε με σκοπό να διερευνηθεί η επίδραση διαφορετικών διατάξεων σταλακτηφόρων σωλήνων και σταλακτήρων, όταν εφαρμόζουν ίσες ποσότητες νερού.

Έγιναν αναλύσεις του εδάφους και βρέθηκε ότι το έδαφος ήταν αμμοαργιλοπηλώδες μέχρι βάθος 60 cm, αργιλοπηλώδες από 60-90 cm και αργιλώδες σε βάθος μεγαλύτερο των 90 cm.

Μετρήθηκε η διηθητικότητα με το διηθητόμετρο εφαρμογής αρδεύσεων και βρέθηκε  $1 \cdot 10^{-3}$  cm/sec.

Μετρήθηκε η υδραυλική αγωγιμότητα κορεσμού επιτόπου στον αγρό με την συσκευή (Guelph Permeameter) και βρέθηκε  $2 \cdot 10^{-3}$  cm/sec σε βάθος 15 cm, περίπου η ίδια με την τελική διηθητικότητα που δείχνει την ακρίβεια μέτρησης του οργάνου. Σε βάθος 45 cm η υδραυλική αγωγιμότητα βρέθηκε  $8.5 \cdot 10^{-4}$  cm/sec που δείχνει ότι το έδαφος ήταν συμπιεσμένο.

Η εφαρμοζόμενη ποσότητα νερού κάθε άρδευσης καθορίστηκε με την βοήθεια εξατμισιμέτρου και η δόση άρδευσης φαίνεται στον πίνακα του παραρτήματος.

Έγιναν δοκιμαστικές μετρήσεις της παροχής του σταλακτήρα σε διάφορες πιέσεις λειτουργίας και διαπιστώθηκε ότι οι διακυμάνσεις της, ήσαν μέσα στα επιτρεπτά από τον κατασκευαστή όρια.

Οι μετρήσεις της κατ' όγκον υγρασίας έγιναν με την μέθοδο TDR σε βάθη 15, 16.5 και 20 cm σε όλα τα πειραματικά τεμάχια μία ημέρα μετά την άρδευση και για τρεις συνεχείς αρδεύσεις όπως δείχνουν τα διαγράμματα του παραρτήματος.

Σύμφωνα με τα δεδομένα μετρήσεων, στις δύο διατάξεις 1.0 m X 0.50 m και 1.0 m X 0.75 m παρατηρήθηκε μειωμένη υγρασία μόνο στις θέσεις μεταξύ των γραμμών των ζαχαροτεύτλων που δεν υπήρχε σταλακτηφόρος σωλήνας. Η μειωμένη αυτή υγρασία δεν φάνηκε να επηρεάζει σημαντικά την παραγωγική συμπεριφορά των ζαχαροτεύτλων.

Στις διατάξεις 1.5 m X 0.50 m και 1.5 m X 0.75 m, φάνηκε να μην είναι επαρκές το νερό στις μεσαίες γραμμές των ζαχαροτεύτλων ακόμη και μία μέρα μετά την άρδευση.

Γενικά φάνηκε κατ' αρχήν ότι η ορθή διάταξη στάγδην άρδευσης είναι γραμμή παρά γραμμή ανεξάρτητα από την απόσταση των σταλακτήρων.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amaducci I O, Cucci G, Caro De A, Gherbin P, Mambelli S, Venturi G, Sygar beet yield response to irrigation in different enviromental condition. *Irrigarioue E drainaggio* 1989 Vol, 36 no 4, pp 1989.
2. Benz L C, Doerng EJ and Reichman G A, Water table and irrigation effects on corn and sugarbeet. *Transction of the American Society of Agricultural science*, Cambridge. 1977, vol 89, 481-93.
3. Constantz, J. and F. Murphy. 1990. Monitoring moisture storage in trees using time domain reflectometry. *J. Hydrol.* 11:31-42.
4. Dalton, F.N. 1992. Development of time-domain reflectometry for measuring soil water content and bulk soil electrical conductivity. *In Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*, SSSA Special Publication no. 30:143-167.
5. Dasberg, S., and F.N. Dalton. 1985. Time domain reflectometry measurements of soil water content and electrical conductivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:293-297.
6. Ferre, P.A., D.L. Rudolph, and R.G. Kachanoski. 1996. Spatial averaging of water content by time domain reflectometry: implications for twin rod probes with and without dielectric coatings. *Water Resour. Res.* 32:271-279.
7. Heimorava, T.J. 1994. Frequency domain analysis of time domain reflectometry waveforms. 1. Measurement of the complex dielectric permittivity of soils. *Water Resour. Res.* 30:189-199.
8. Heimorava, T.J., and W. Bouten. 1990. A computer-controlled 36-channel time domain reflectometry system for monitoring soil water contents. *Water Resour. Res.* 26:2311-2316.
9. Heimorava, T.J., W. Bouten, and J.M. Verstraten. 1994. Frequency domain analysis of time domain reflectometry waveforms. 2. A four-component complex dielectric mixing model for soils. *Water Resour. Res.* 30:201-209.
10. Herkelrath, W.N., S.P. Hamburg, and F. Murphy. 1991. Automatic, real-time monitoring of soil moisture in a remote field area with time domain reflectometry. *Water Resour. Res.* 27:857-864.
11. Hook, W.R., and N.J. Livingston. 1995. Errors in converting time domain reflectometry measurements of propagation velocity to estimates of soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:35-41.

12. Kelly, S.F., J.S. Selker, and J.L. Green. 1995. Using sort soil moisture probes with high-bandwidth time domain reflectometry instruments. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:97-102.
13. Knight, J.H. 1992. Sensitivity of time domain reflectometry measurements to lateral variations in soil water content. *Water Resour. Res.* 28:2345-2352.
14. Mallants, D., M. Vanclooster, N. Toride, J. Vanderborght, M.T. van Genuchten, and J. Feyen. 1996. Comparison of three methods to calibrate TDR for monitoring solute movement in undisturbed soil. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:747-754.
15. Nadler, A., S. Dasberg, and I. Lapid. 1991. Time domain reflectometry measurements of water content and electrical conductivity of layered soil columns. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55:938-943.
16. Nielsen, D.C., H.J. Lagae, and R.L. Anderson. 1995. Time-domain reflectometry measurements of surface soil water content. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 59:103-105.
17. Noborio, K., K.J. McInnes, and J.L. Heilman. 1996a. Measurements of soil water content, heat capacity, and thermal conductivity with a single tdr probe. *Soil Sci.* 161:22-28.
18. Noborio, K., K.J. McInnes, and J.L. Heilman. 1996b. Measurements of cumulative infiltration and wetting front location by time domain reflectometry. *Soil Sci.* 161: 480-483.
19. Παπαζαφειρίου, Ζ., 1985 **Αρχές και πρακτική των αρδεύσεων**. Εκδόσεις Ζήτη Θεσσαλονίκη.
20. Σακελλαρίου-Μακραντωνάκη Μ., 1992 Πανεπιστημιακές σημειώσεις Αρδευση με σταγόνες Βόλος
21. Σακελλαρίου, Μ., Ν. Μασλάρης, Δ. Καλφούντζος και Χ Γούλας **Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων**. 1998, 1<sup>ο</sup> Εθνικό συνέδριο Γεωργικής Μηχανικής, Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 11 και 12/12/1998 Αθήνα.
22. Σακελλαρίου, Μ., Ν. Μασλάρης, Γ. Νούσιος, Π Ντιούδης και Δ. Καλφούντζος **Μελέτη διατάξεων άρδευσης με σταγόνες στην καλλιέργεια των ζαχαροτεύτλων**. 1999, 4<sup>ο</sup> Εθνικό συνέδριο Ελληνικής Επιτροπής για την Διαχείριση Υδατικών Πόρων, 17 και 19/16/1999 Βόλος.
23. Skaling, W. 1992. Trace: A product history. *In* Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice, SSSA Special Publication no. 30:169-185.
24. Topp, G.C., and J.L. Davis. 1985. Measurement of soil water content using time-domain reflectometry: A field evaluation. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49:19-24.



25. Topp, G.C., J.L. Davis, and A.P. Annan. 1982a. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: I. Applications to wetting fronts and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:672-678.
26. Topp, G.C., J.L. Davis, and A.P. Annan. 1982b. Electromagnetic determination of soil water content using TDR: II. Evaluation of installation and configuration of parallel transmission lines and steep gradients. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 46:678-684.
27. Topp, G.C., M. Yanuka, W.D. Zebchuk, and S. Zegelin. 1988. Determination of electrical conductivity using time domain reflectometry: soil and water experiments in coaxial lines. *Water Resour. Res.* 24:945-952.
28. Vanclooster, M., D. Mallants, J. Diels, and J. Feyen. 1993. Determining local-scale solute transport parameters using time domain reflectometry (TDR). *J. Hydrol.* 148: 93-107.
29. Vogeler, I., B.E. Clothier, S.R. Green, D.R. Scotter, and R.W. Tillman. 1996. Characterizing water and solute movement by time domain reflectometry and disk permeametry. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 60:5-12.
30. Zegelin, S.J., I. White, and D.R. Jenkins. 1989. Improved field probes for soil water content and electrical conductivity measurement using time domain reflectometry. *Water Resour. Res.* 25:2367-2376.
31. Zegelin, S.J., I. White, and G.F. Russel. 1992. A critique of the time domain reflectometry technique for determining field soil-water content. *In* *Advances in Measurement of Soil Physical Properties: Bringing Theory into Practice*, SSSA Special Publication no. 30: 187-208.



# **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

**Διάταξη πειραματικών σχεδίων**

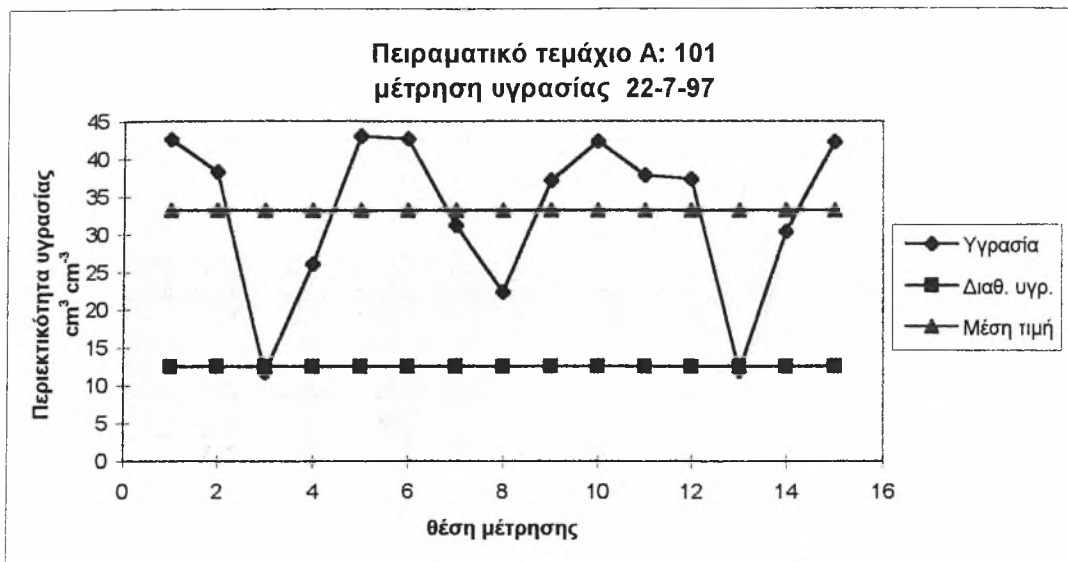
**Φωτογραφίες φυτείας σε πλήρη ανάπτυξη σε κάθε  
πειραματικό τεμάχιο**

**Δόση άρδευσης**

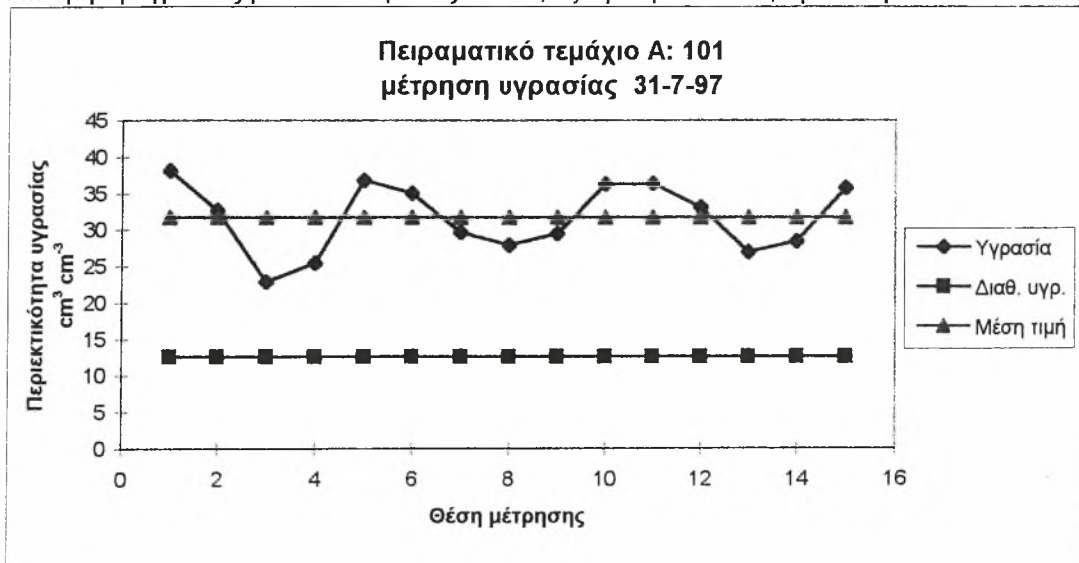
**Σχεδιαγράμματα υγρασίας μία ημέρα μετά την άρδευση**

	$\Delta A = E \Xi * 0.85 (\Delta \text{ΟΣΗ ΑΡΔΕΥΣΗΣ})$							
	$A = \Delta A / 7.6$		$B = \Delta A / 5.07$		$\Gamma = \Delta A / 5.07$		$\Delta = \Delta A / 3.38$	
Εξαρ.	(1-50)A		(1-75)B		(1.5-50)Γ		(1.5-75)Δ	
mm	ΩΡΕΣ	ΛΕΠΤΑ	ΩΡΕΣ	ΛΕΠΤΑ	ΩΡΕΣ	ΛΕΠΤΑ	ΩΡΕΣ	ΛΕΠΤΑ
10	1	7	1	41	1	41	2	31
11	1	14	1	51	1	51	2	46
12	1	21	2	1	2	1	3	1
13	1	27	2	11	2	11	3	16
14	1	34	2	21	2	21	3	31
15	1	41	2	31	2	31	3	46
16	1	47	2	41	2	41	4	1
17	1	54	2	51	2	51	4	17
18	2	1	3	1	3	1	4	32
19	2	8	3	11	3	11	4	47
20	2	14	3	21	3	21	5	2
21	2	21	3	31	3	31	5	17
22	2	28	3	41	3	41	5	32
23	2	34	3	51	3	51	5	47
24	2	41	4	1	3	1	6	2
25	2	48	4	11	4	11	6	17
26	2	54	4	22	4	22	6	32
27	3	1	4	32	4	32	6	47
28	3	8	4	42	4	42	7	2
29	3	15	4	52	4	52	7	18
30	3	21	5	2	5	2	7	33
31	3	28	5	12	5	12	7	48
32	3	35	5	22	5	22	8	3
33	3	41	5	32	5	32	8	18
34	3	48	5	42	5	42	8	33
35	3	55	5	52	5	52	8	48
36	4	2	6	2	6	2	9	3
37	4	8	6	12	6	12	9	18
38	4	15	6	22	6	22	9	33
39	4	22	6	32	6	32	9	48
40	4	28	6	42	6	42	10	4
41	4	35	6	52	6	52	10	19
42	4	42	7	2	7	2	10	34
43	4	49	7	13	7	13	10	49
44	4	55	7	23	7	23	11	4
45	5	2	7	33	7	33	11	19
46	5	9	7	43	7	43	11	34
47	5	15	7	53	7	53	11	49
48	5	22	8	3	8	3	12	4
49	5	29	8	13	8	13	12	19
50	5	36	8	23	8	23	12	34
51	5	42	8	33	8	33	12	50
52	5	49	8	43	8	43	13	5
53	5	58	8	53	8	53	13	20
54	6	2	9	3	9	3	13	35
55	6	9	9	13	9	13	13	50
56	6	16	9	23	9	23	14	5
57	6	23	9	33	9	33	14	20
58	6	29	9	43	9	43	14	35
59	6	36	9	53	9	53	14	50

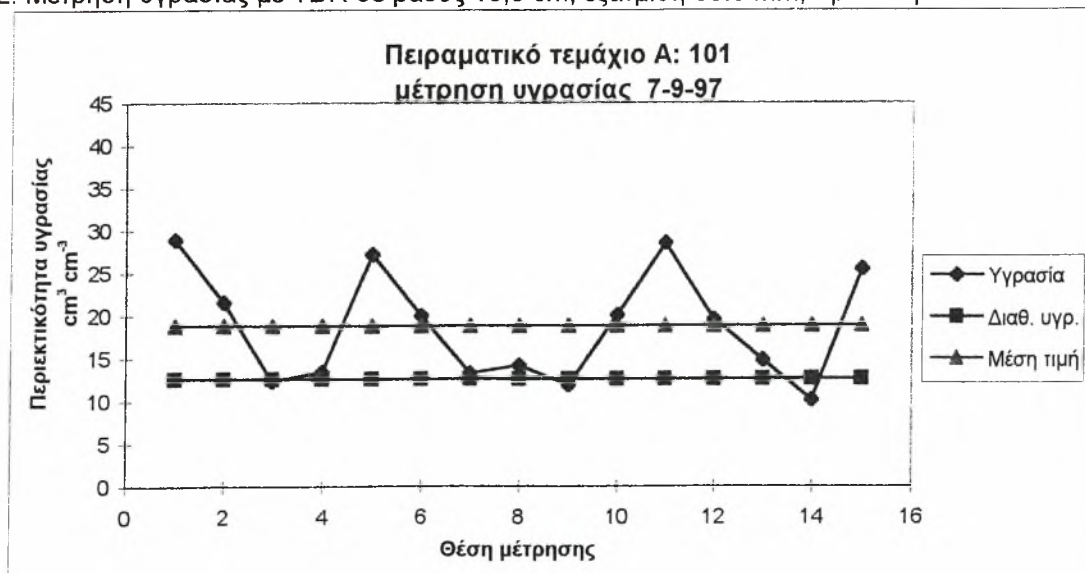




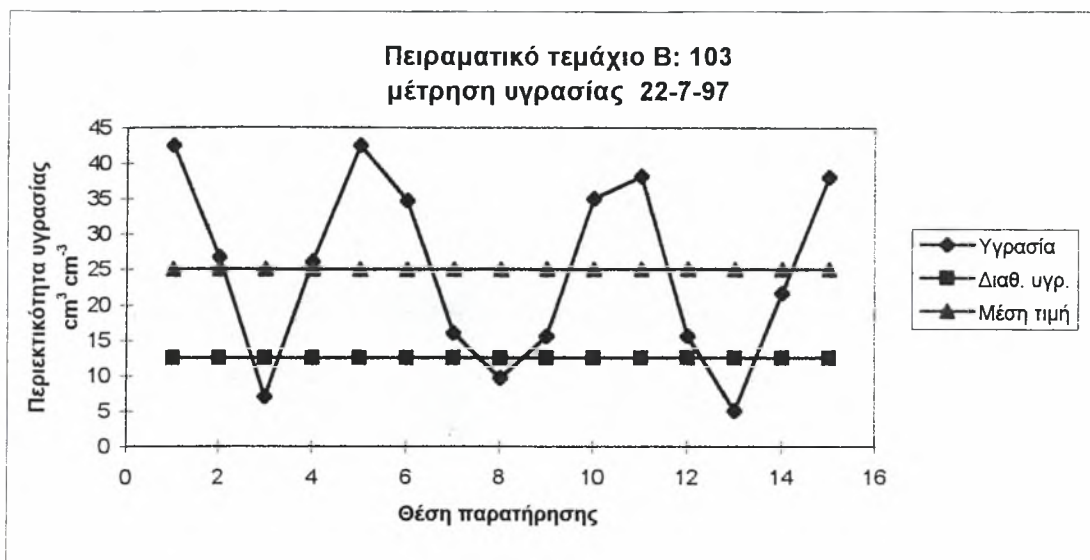
Σχήμα 1. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 31.1 mm, άρδευση 21-7-97



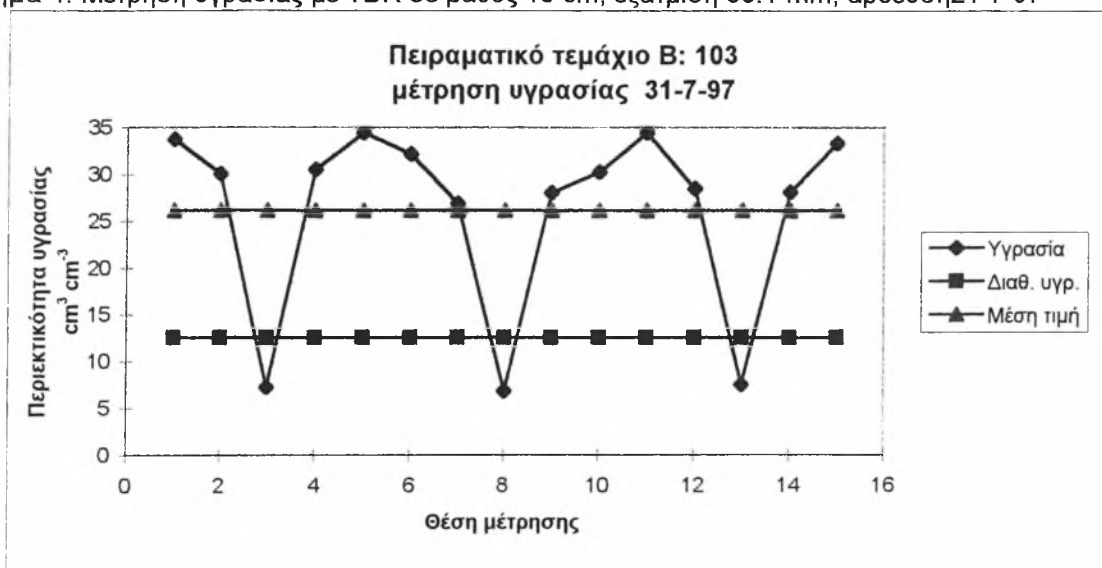
Σχήμα 2. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16,5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



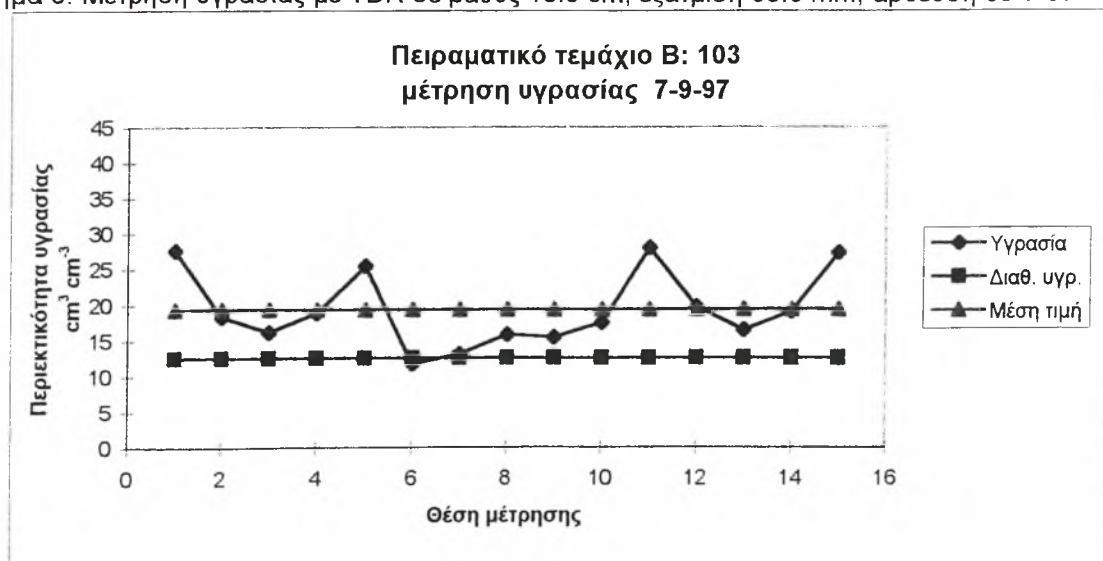
Σχήμα 3. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



Σχήμα 4. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 21-7-97

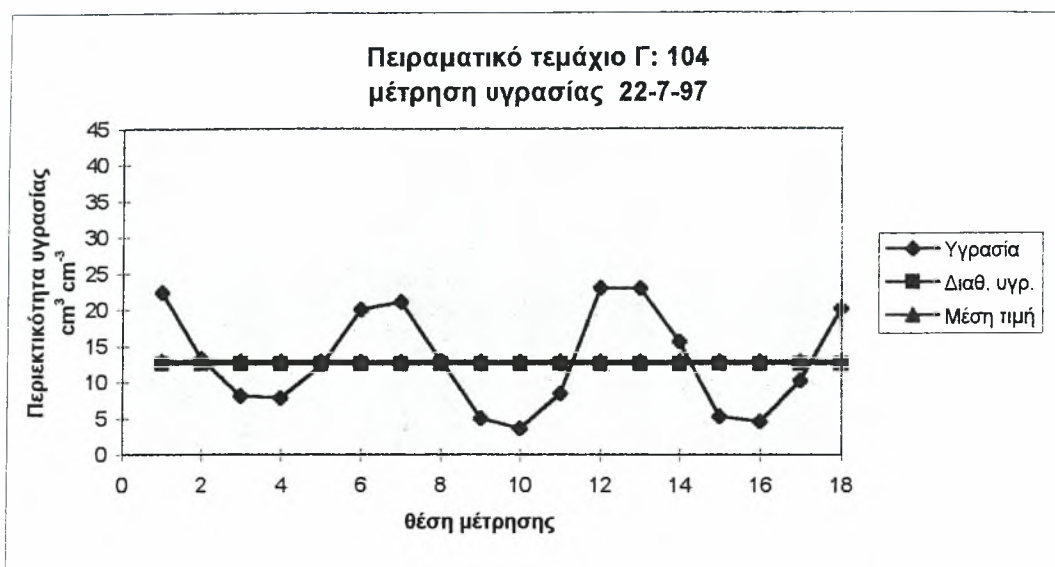


Σχήμα 5. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97

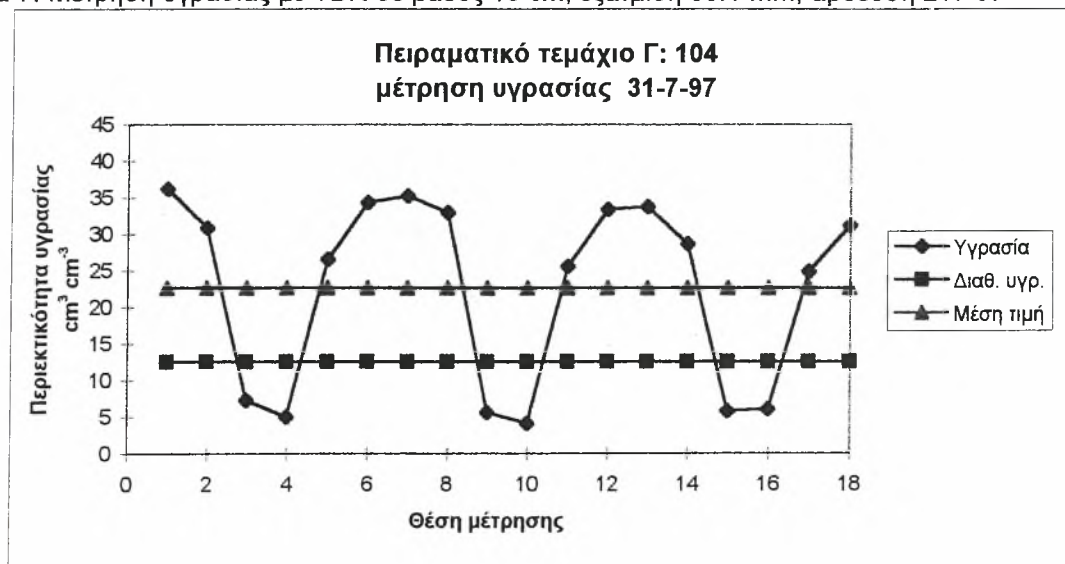


Σχήμα 6. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97

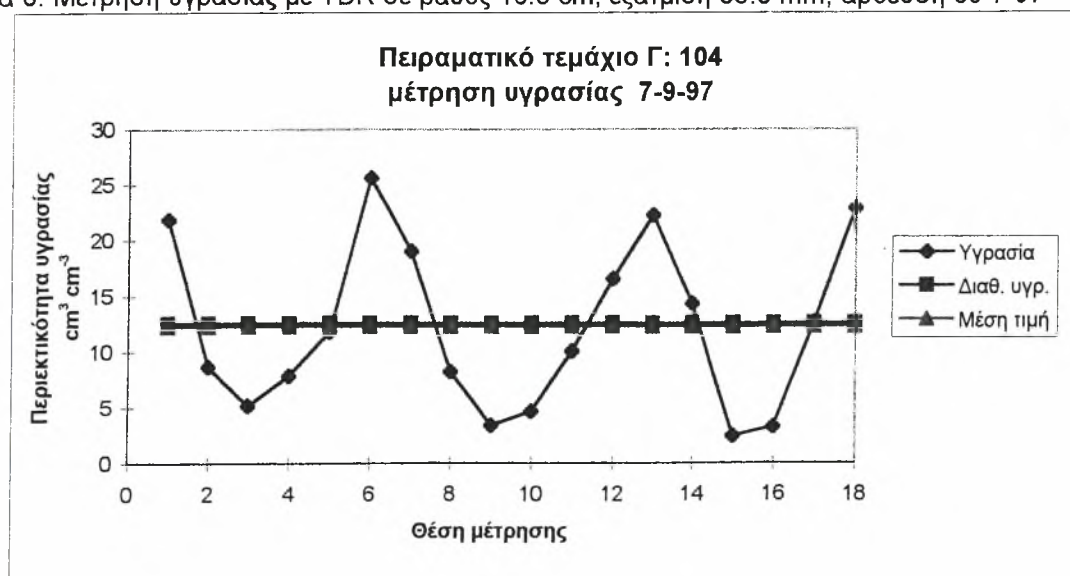




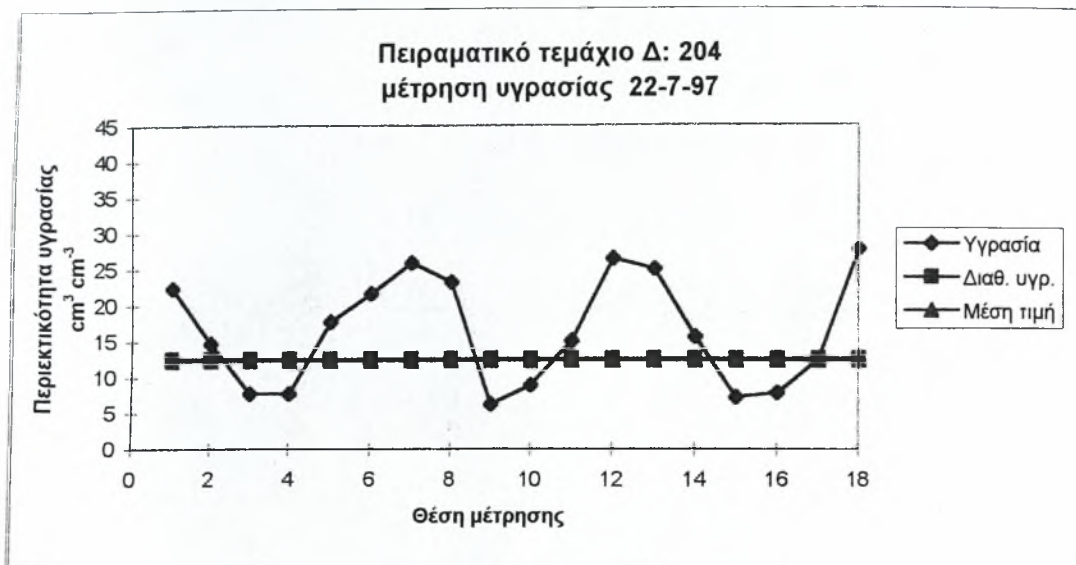
Σχήμα 7. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 217-97



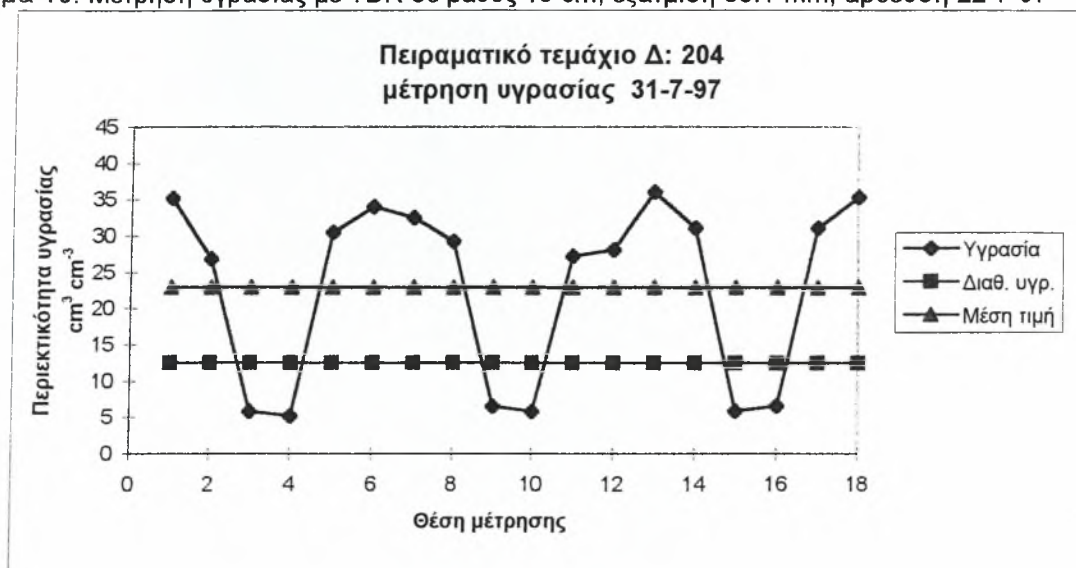
Σχήμα 8. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



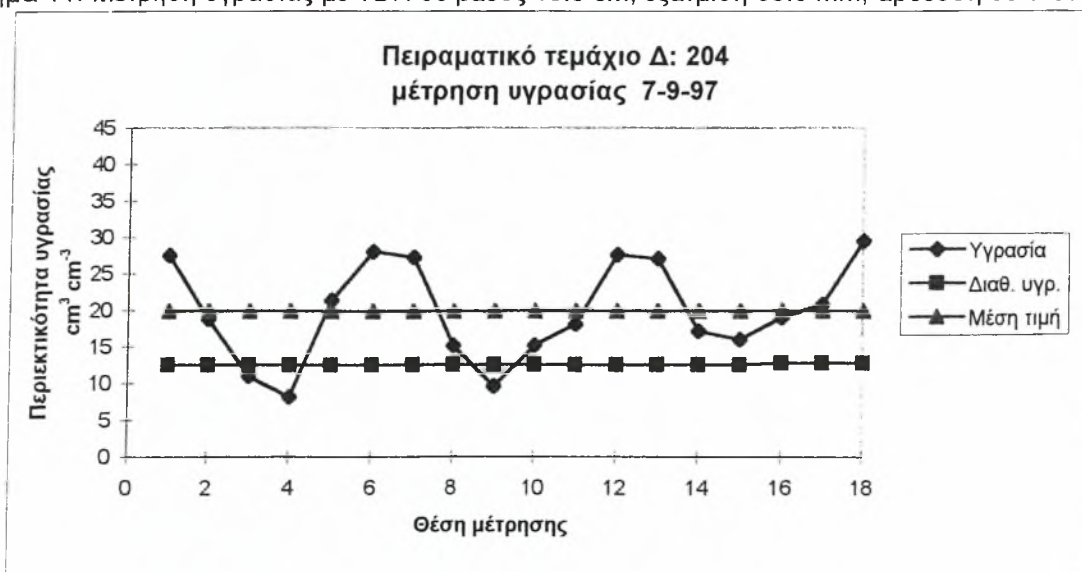
Σχήμα 9. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



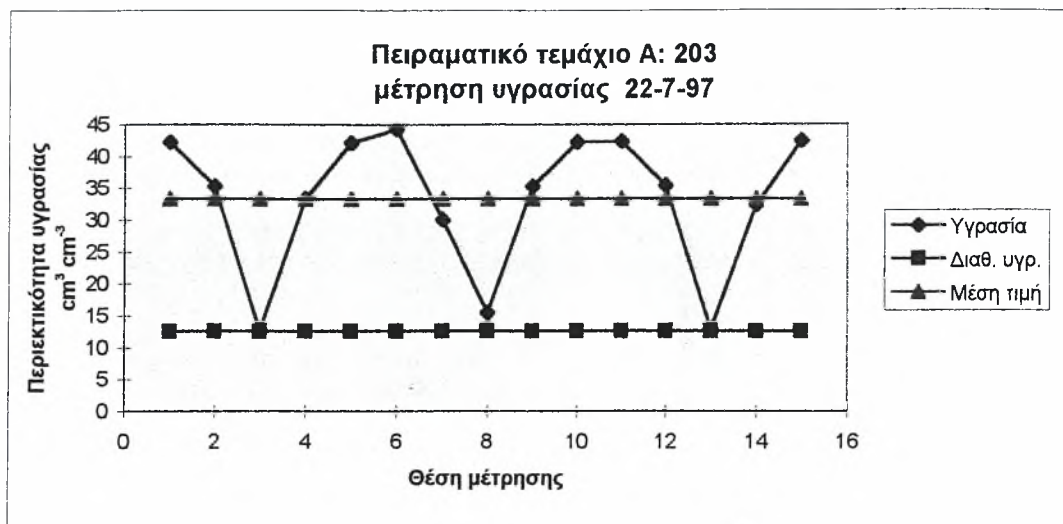
Σχήμα 10. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



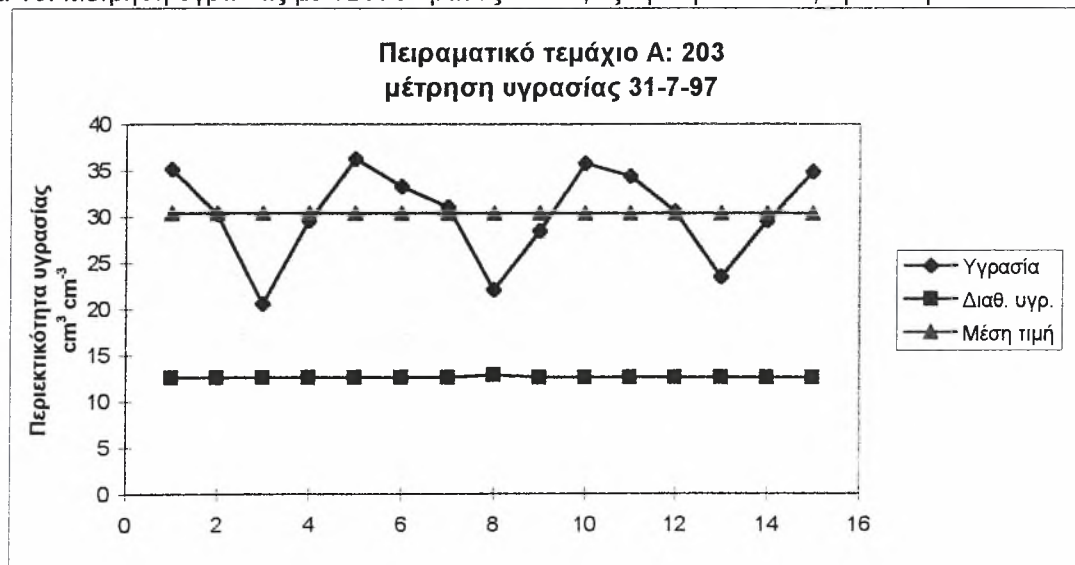
Σχήμα 11. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



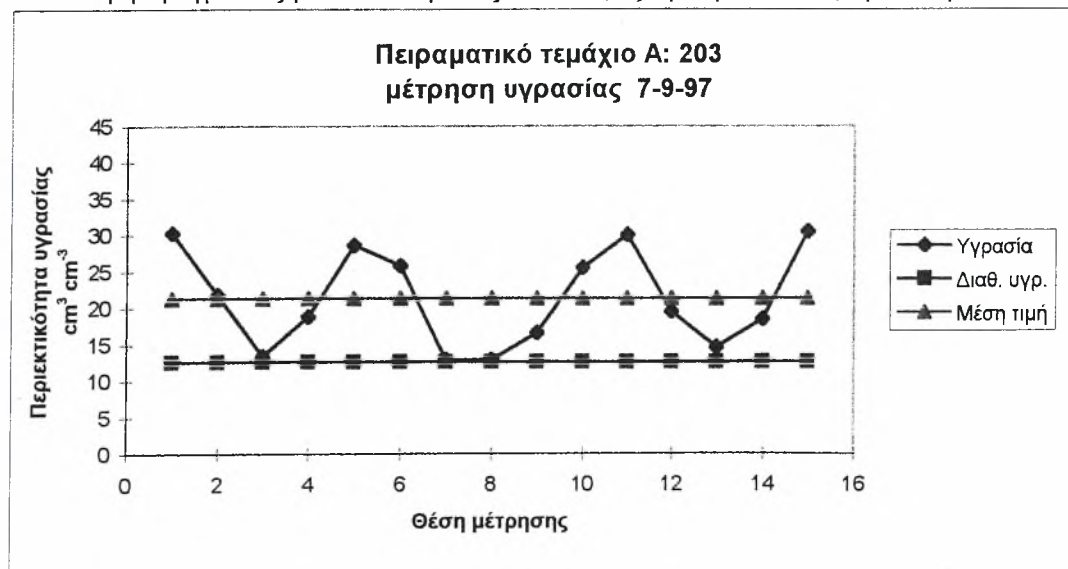
Σχήμα 12. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



Σχήμα 13. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



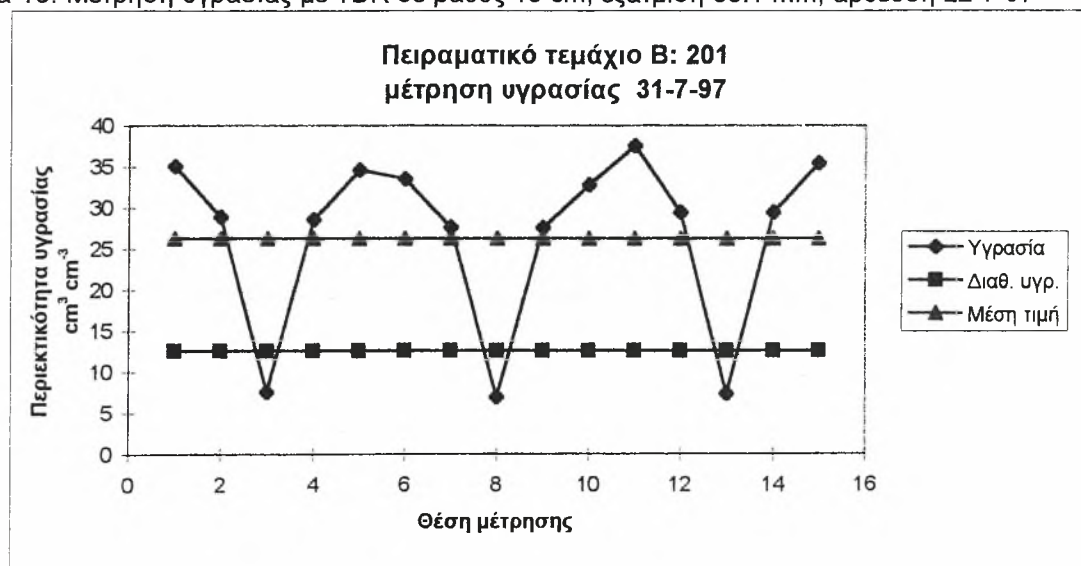
Σχήμα 14. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



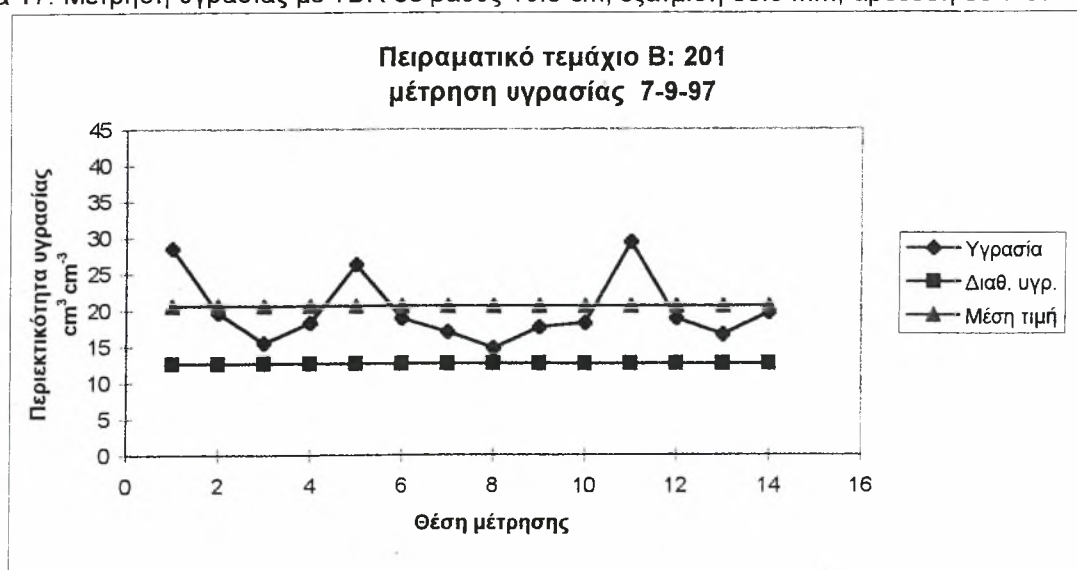
Σχήμα 15. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



Σχήμα 16. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97

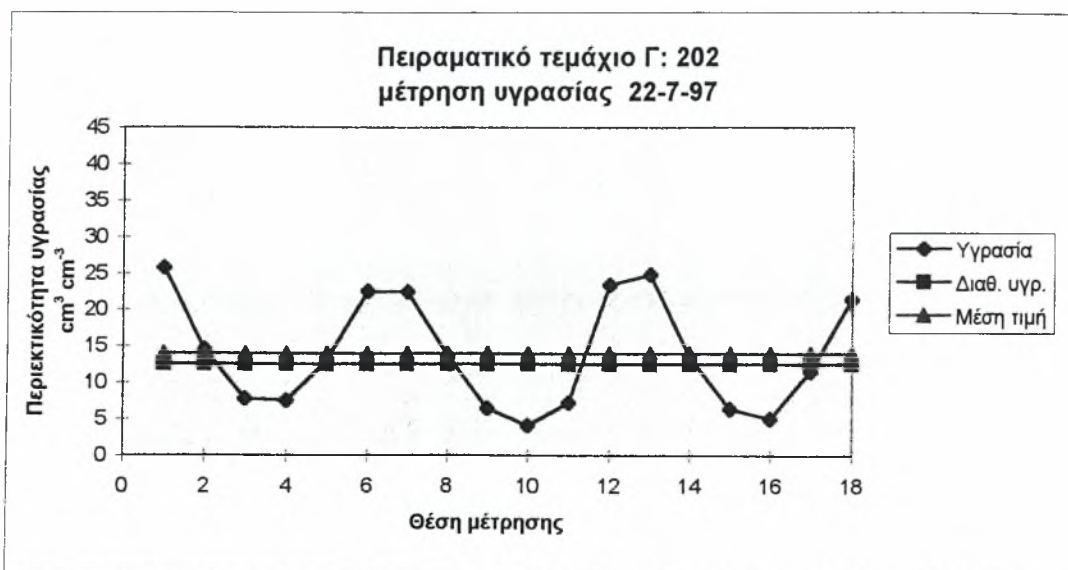


Σχήμα 17. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97

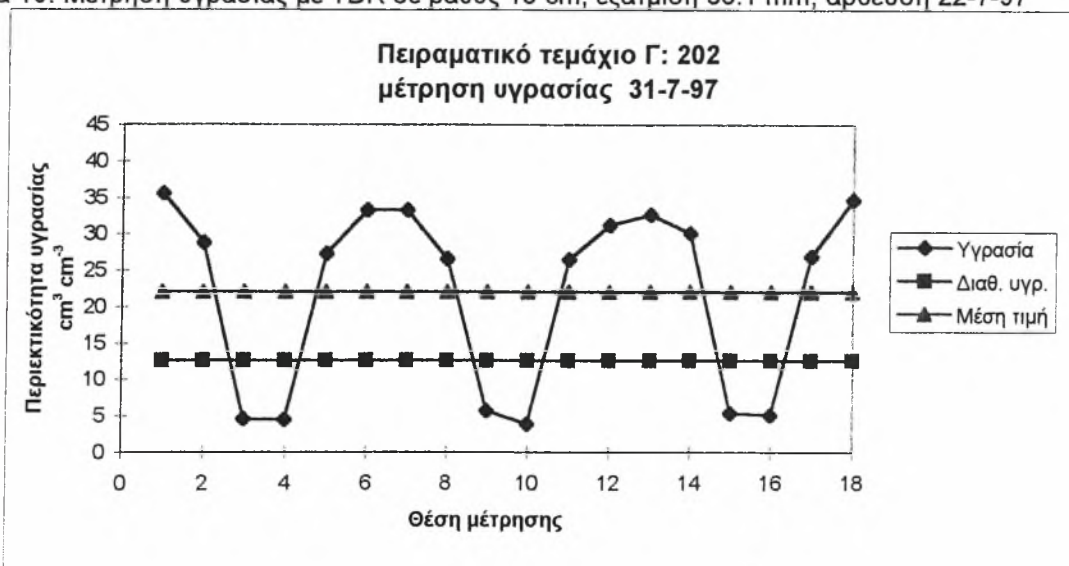


Σχήμα 18. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97

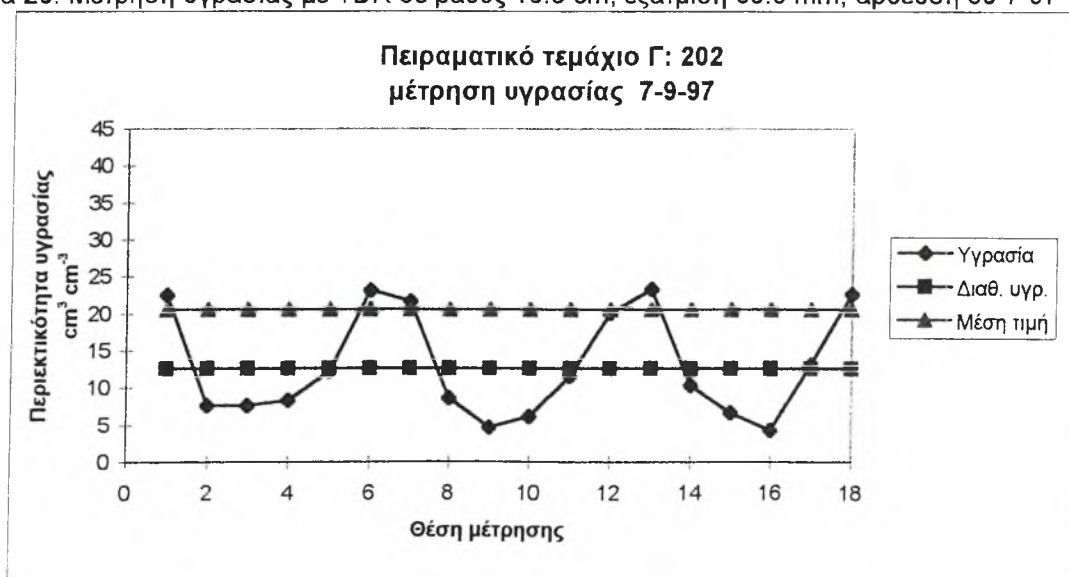




Σχήμα 19. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97

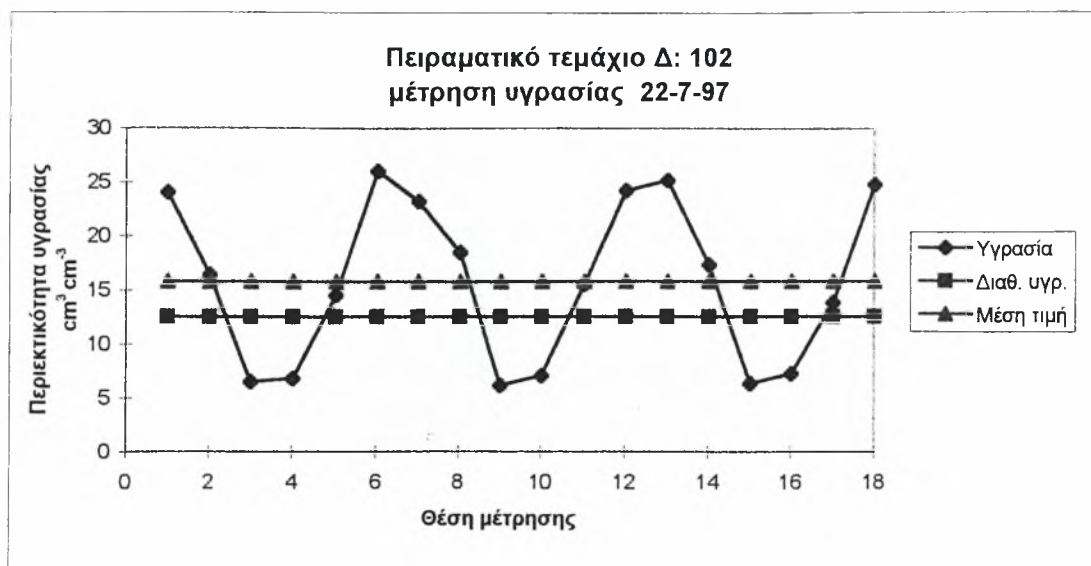


Σχήμα 20. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97

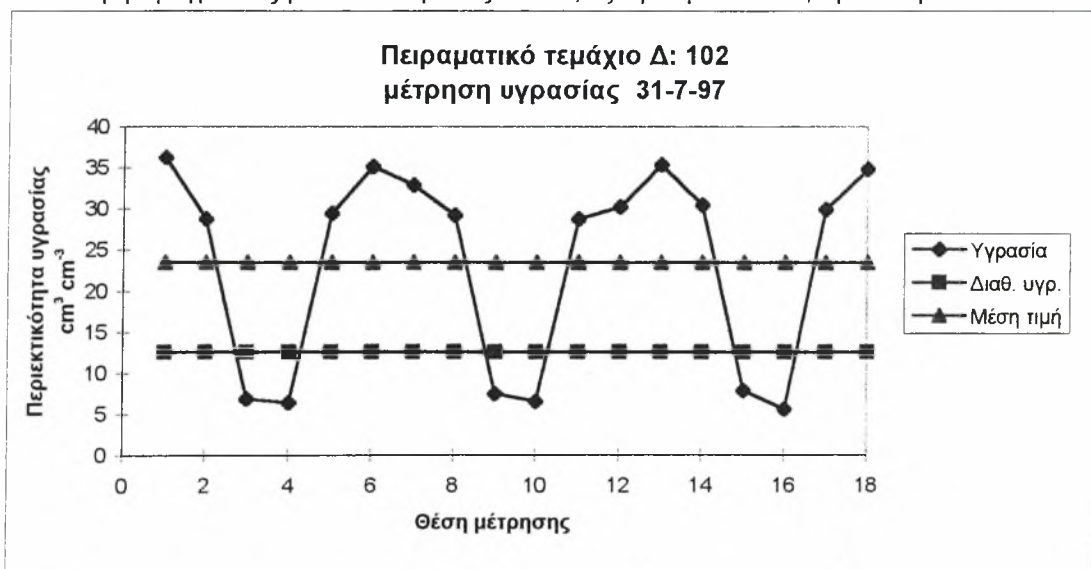


Σχήμα 21. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97

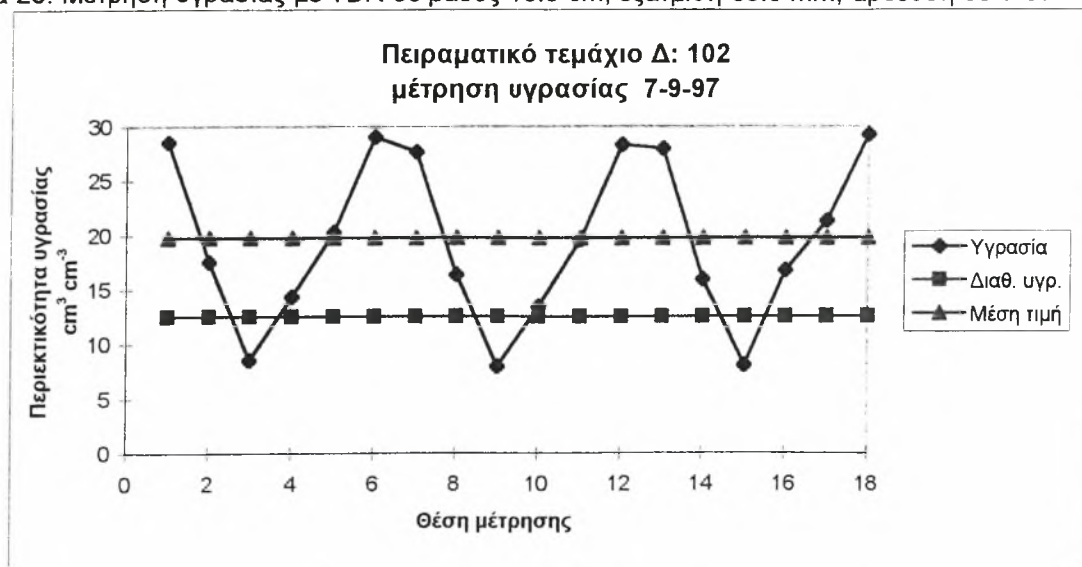




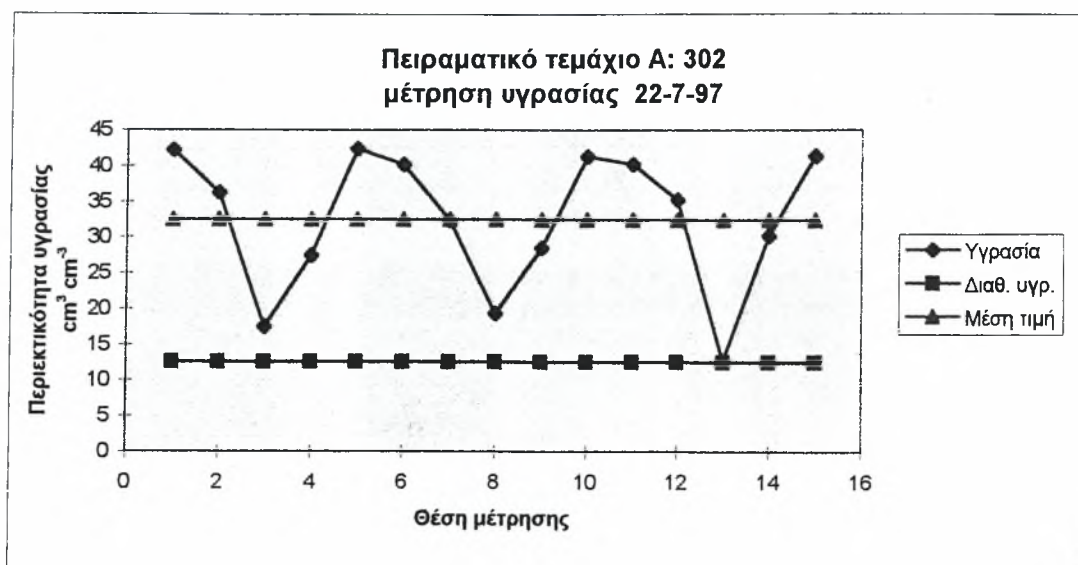
Σχήμα 22. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



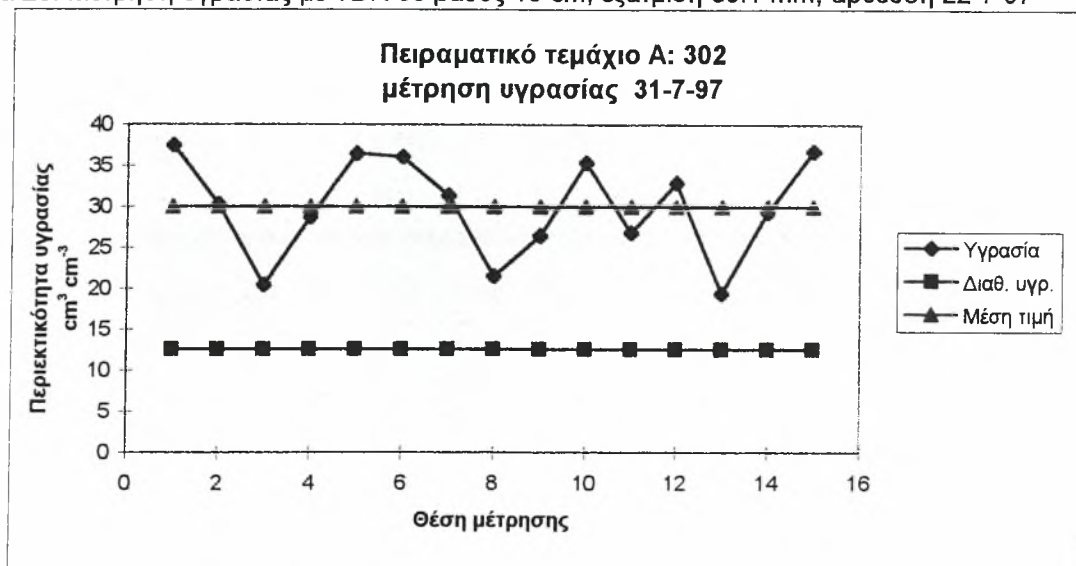
Σχήμα 23. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



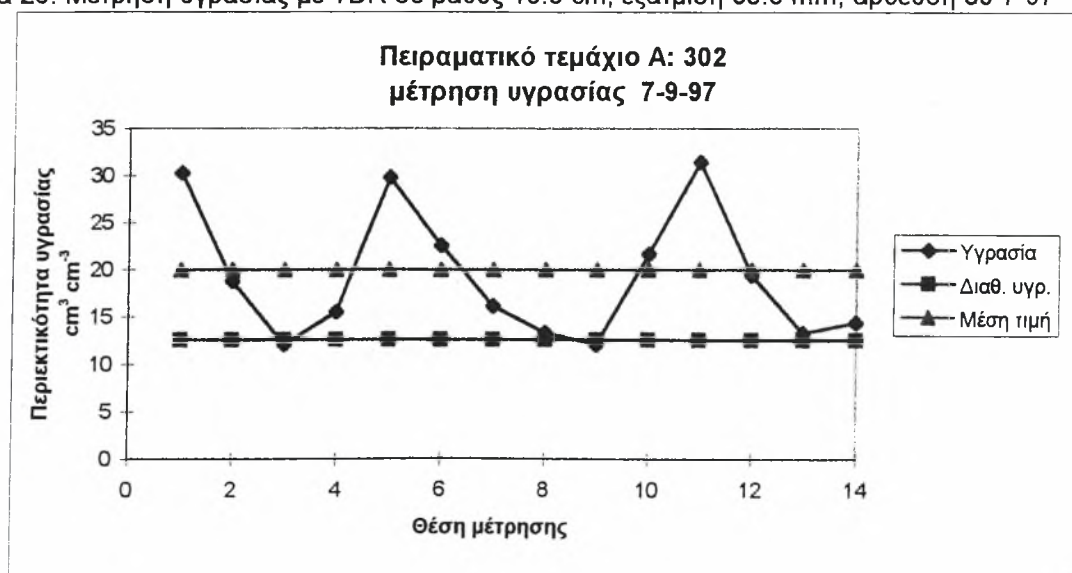
Σχήμα 24. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



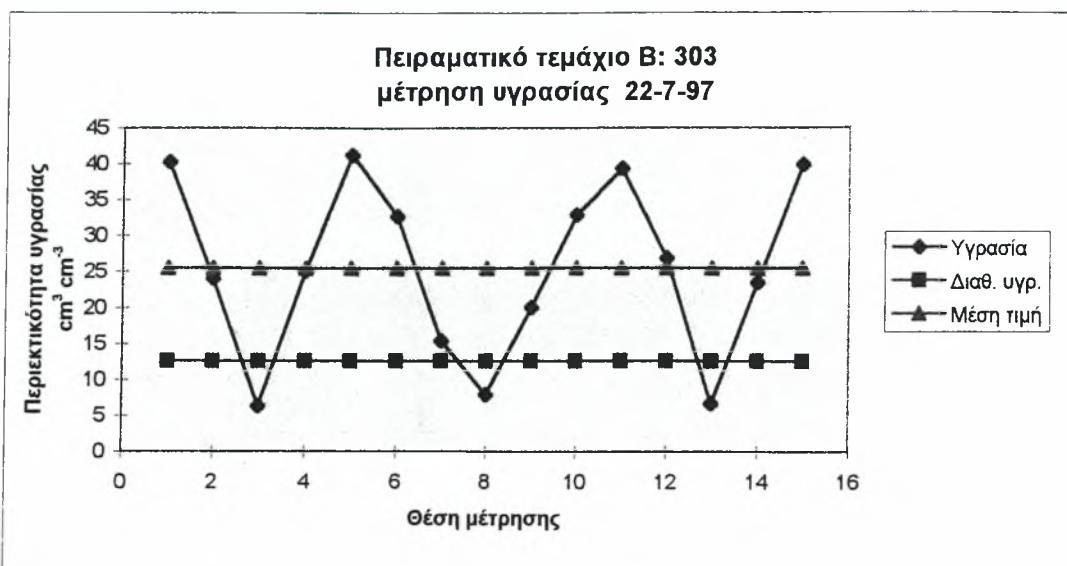
Σχήμα 25. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



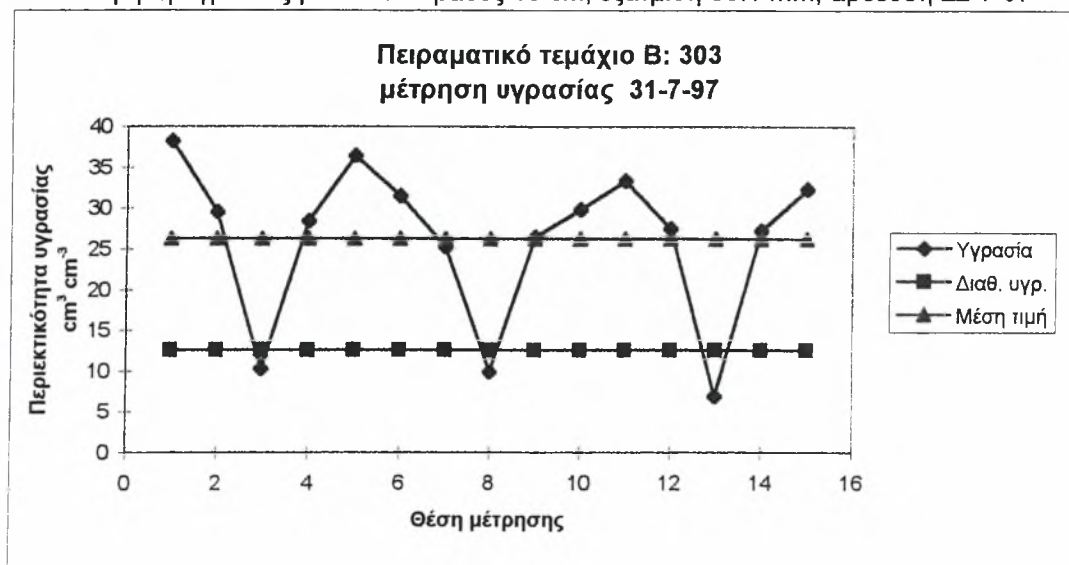
Σχήμα 26. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



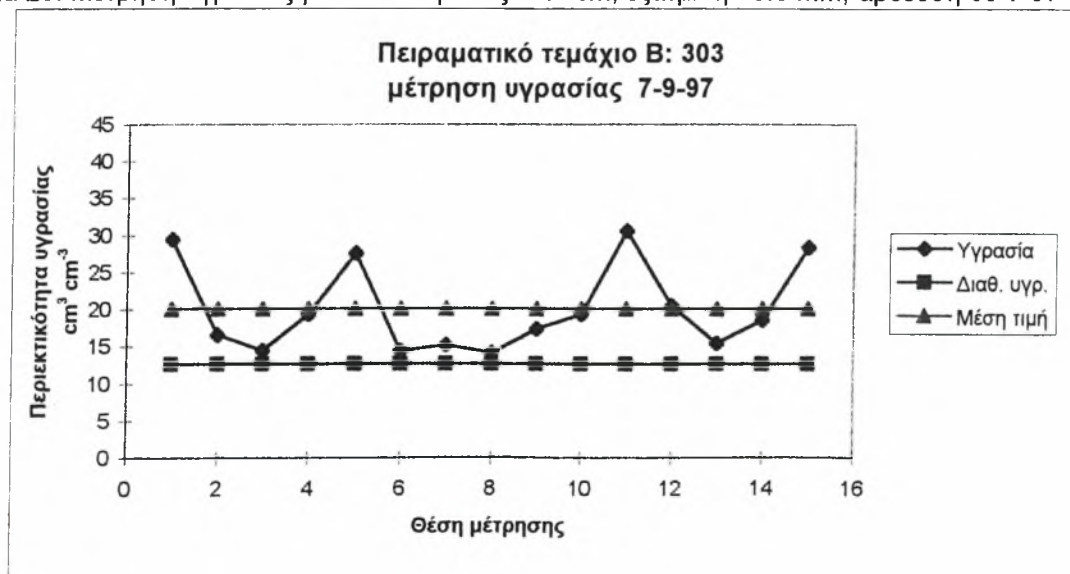
Σχήμα 27. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



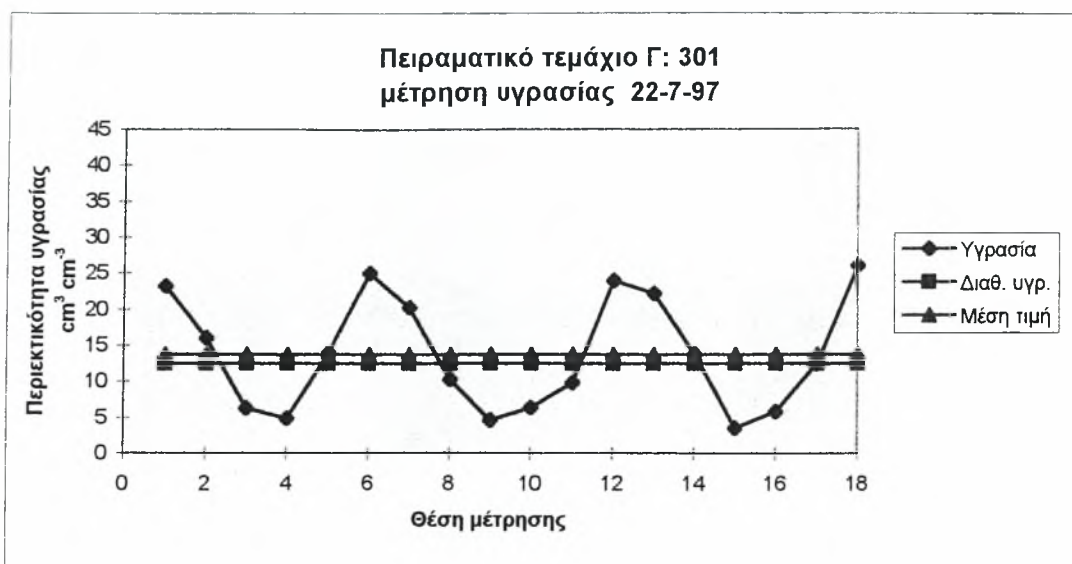
Σχήμα 28. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



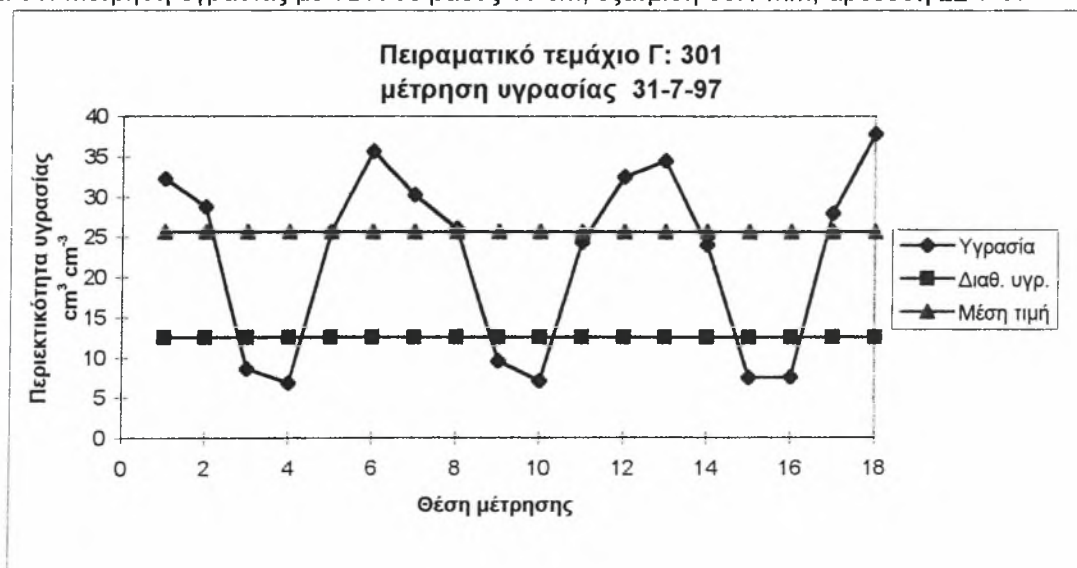
Σχήμα 29. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



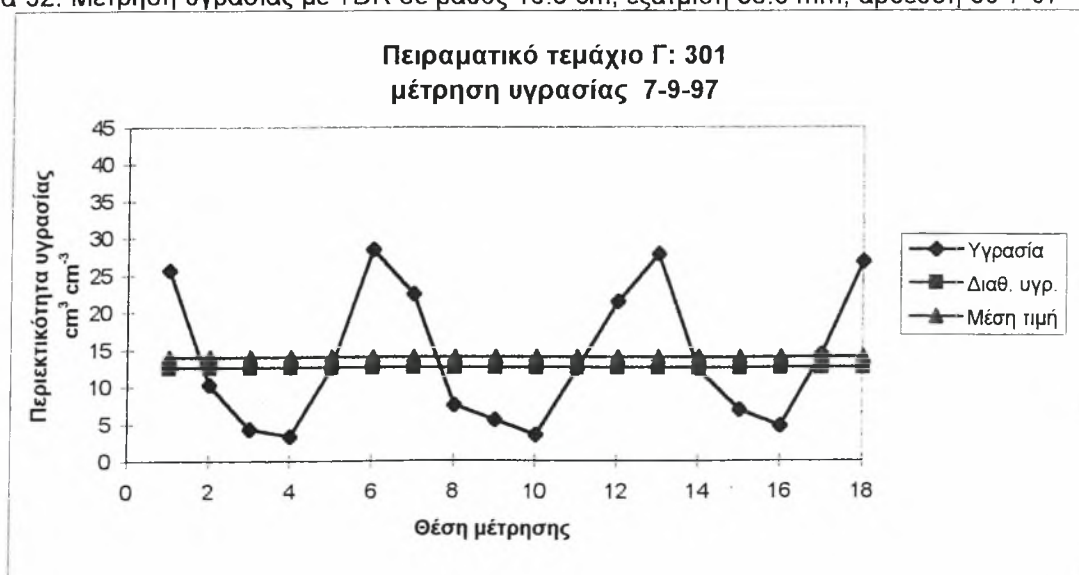
Σχήμα 30. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97



Σχήμα 31. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97

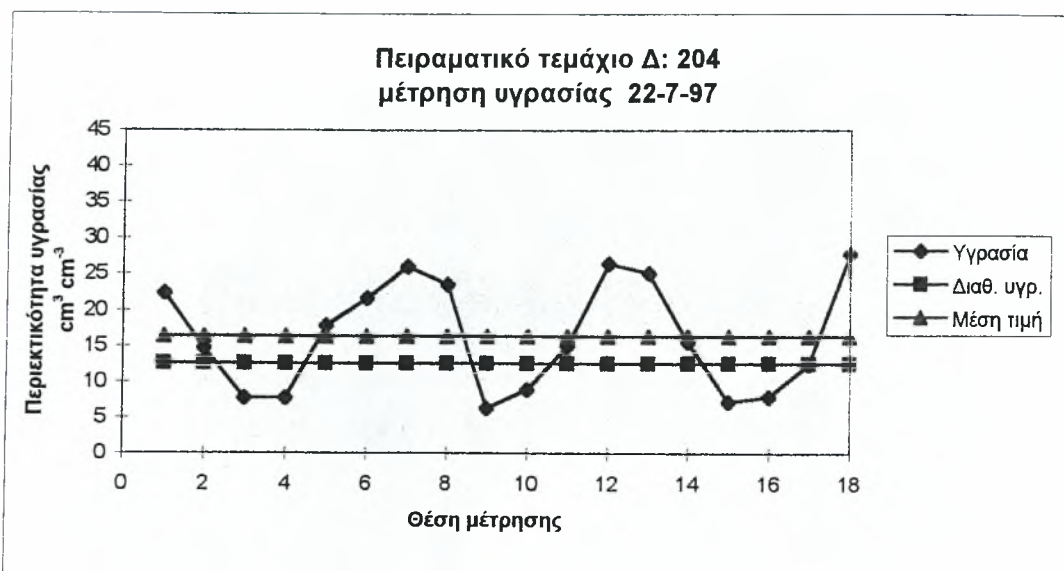


Σχήμα 32. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97

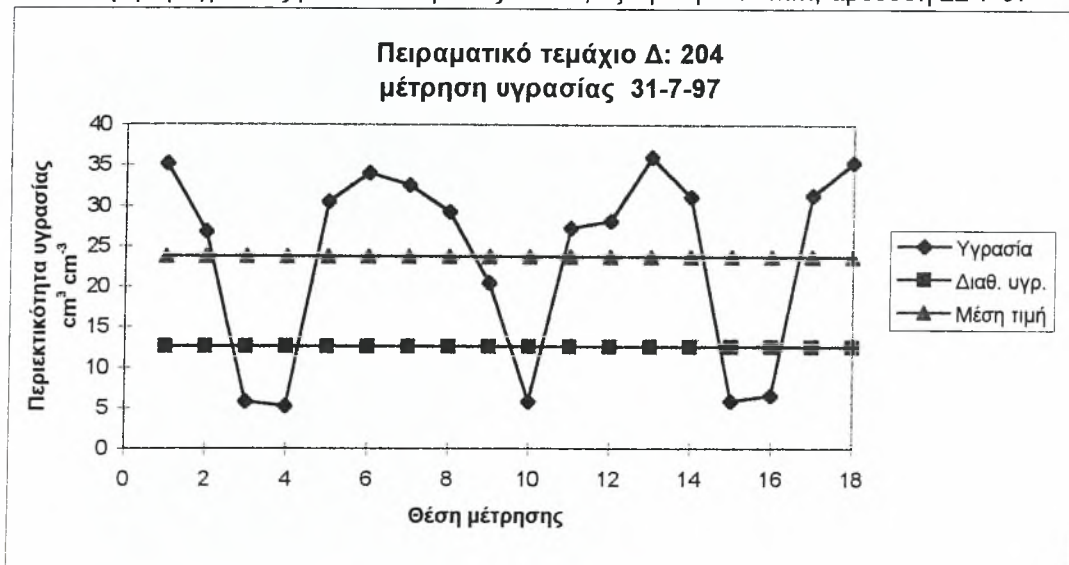


Σχήμα 33. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97

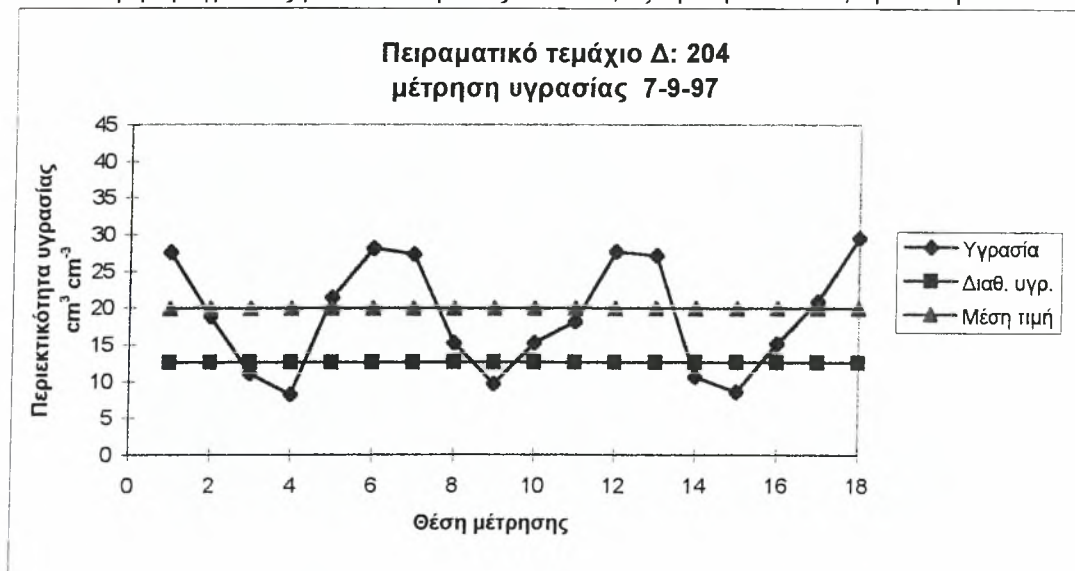




Σχήμα 34. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 15 cm, εξάτμιση 33.1 mm, άρδευση 22-7-97



Σχήμα 35. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 16.5 cm, εξάτμιση 35.8 mm, άρδευση 30-7-97



Σχήμα 36. Μέτρηση υγρασίας με TDR σε βάθος 20 cm, εξάτμιση 47.6 mm, άρδευση 5-9-97





Φωτογραφία 1. ΈΑποψη φυτείας σε πλήρη ανάπτυξη στο πειραματικό τεμάχιο Α



Φωτογραφία 2. ΈΑποψη φυτείας σε πλήρη ανάπτυξη στο πειραματικό τεμάχιο Β





Φωτογραφία 3. 'Αποψη φυτείας σε πλήρη ανάπτυξη στο πειραματικό τεμάχιο Γ



Φωτογραφία 4. 'Αποψη φυτείας σε πλήρη ανάπτυξη στο πειραματικό τεμάχιο Δ

